Le rapport entre la R-D et la croissance de la productivité au Canada et dans d'autres grands pays industrialisés

Le rapport entre la R-D et la croissance de la productivité au Canada et dans d'autres grands pays industrialisés

Le rapport entre la R-D et la croissance de la productivité au Canada et dans d'autres grands pays industrialisés

Pierre Mohnen

1992

Les résultats de cette étude sont l'entière responsabilité de l'auteur et n'engagent en aucune façon les organismes qui parrainent sa parution.

93-01685/

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1992

Tous droits réservés. On ne peut reproduire aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photographique) ni en faire une photocopie, une reproduction ou un enregistrement sur support magnétique ou autre sans autorisation écrite préalable du ministre d'Approvisionnements et Services Canada.

ISBN 0-660-93944-4
No de cat. MAS EC22-191/1992F

En vente au Canada par l'entremise de nos
agents libraires agréés ou par la poste auprès du :
Centre d'édition du gouvernement du Canada
Ottawa (Canada) K1A 0S9

Coordonnateur de l'édition : Ampersand Communications Inc.
Conception de la page couverture : Brant Cowie/ArtPlus Limited
Traduction française : Société Gamma Inc.

Imprimé au Canada

Données de catalogage avant publication (Canada)

Mohnen, Pierre, 1954-

Le rapport entre la R-D et la croissance de la
productivité au Canada et dans d'autres grands
pays industrialisés

Publ. aussi en anglais sous le titre : The
relationships between R&D and productivity
growth in Canada and other major industrialized
countries.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-660-93944-4
No de cat. MAS EC22-191/1992F

1. Productivité -- Canada. 2. Sociétes de
recherche et de développement -- Canada.
I. Conseil économique du Canada. II. Titre.

HC120.I52M6314 1992 338.6'048'0971 C92-099748-1

Table des matières

	Avant-propos	*vii*
	Résumé	*ix*
I	**R-D et croissance de la productivité : Survol des travaux publiés**	1
	Croissance de la productivité	1
	Définition de la R-D	2
	Contribution de la R-D à la croissance de la productivité	3
	Données empiriques sur la contribution de la R-D à la croissance de la productivité : un tour d'horizon	4
	Fonction de Cobb-Douglas élargie	5
	Modèles de demande de facteurs fondés sur la théorie de la dualité	16
	Autres méthodes	25
II	**Retombées de la R-D étrangère dans l'ensemble du secteur manufacturier au Canada**	27
	Contexte	27
	Mesure des retombées internationales de la R-D	28
	Fonction de Cobb-Douglas élargie	30
	Modèle économétrique fondé sur la dualité	32
	Résultats de la méthode duale	39
III	**Conclusions et recommandations de politique publique**	47
	Notes	51
	Annexe A Liste des industries de pointe	57
	Annexe B Source des données et élaboration	60
	Bibliographie	65
	Remerciements	74

Avant-propos

Cette étude fait partie d'une série de plusieurs travaux commandés par le Conseil économique du Canada dans le cadre d'un projet de plus grande envergure consacré à la compétitivité et à la performance commerciale. Le projet a pour but, dans ses grandes lignes, d'étudier les raisons pour lesquelles l'industrie canadienne a affiché des performances aussi médiocres au cours des vingt dernières années et de les comparer à celles d'autres pays industrialisés ou nouvellement industrialisés. Les études révèlent que le Canada perd graduellement du terrain par rapport à ses partenaires commerciaux, ce qui compromet le niveau de vie futur des Canadiens. Ce projet fournit également de précieux renseignements sur les rétroactions entre le monde microéconomique de l'entreprise, d'une part, et les notions macroéconomiques d'inflation et de taux de change, d'autre part. Sa principale conclusion est que les Canadiens n'ont pas réagi suffisamment vite ni assez vigoureusement aux défis qui se dessinent sur les marchés internationaux. Les conclusions du Conseil ont été publiées en février 1992 dans un exposé intitulé *Agir ensemble : Productivité, innovation et commerce*.

La recherche-développement améliore la productivité en permettant de réduire les coûts ou d'élargir les débouchés. Deux objectifs ont été fixés à Pierre Mohnen dans cette étude : premièrement, faire le tour des publications consacrées au lien entre la R-D et la croissance de la productivité et comparant les taux de rendement de la R-D pour la collectivité et le secteur privé; deuxièmement, évaluer la contribution de la R-D intérieure et étrangère à la croissance de la productivité dans l'industrie manufacturière au Canada.

L'auteur a constaté que le taux de rendement de la R-D privée était supérieur à celui du capital physique. Ses estimations indiquent en outre qu'on tire un taux de rendement plus élevé de la recherche fondamentale que de la recherche appliquée, de la R-D financée par l'entreprise privée que de celle qui est soutenue par les fonds publics et de la R-D portant sur les nouveaux procédés de production que de la mise au point de produits nouveaux. La R-D menée dans un secteur déterminé a également des retombées positives pour

d'autres entreprises. Aussi le taux de rendement social de la R-D est-il sensiblement supérieur à son taux de rendement privé.

Les résultats obtenus par le professeur Mohnen portent à croire que l'industrie manufacturière canadienne, considérée dans son ensemble, bénéficie des retombées de la R-D menée à l'étranger. Ils permettent aussi de penser que le rendement de la R-D étrangère est inférieur à celui de la R-D intérieure — encore que cette conclusion ne fasse toujours pas l'unanimité.

Certaines des constatations de l'auteur sont surprenantes. Des recherches plus approfondies permettraient de jeter plus de lumière sur des questions comme la contribution relative de la R-D importée et de la R-D intérieure, ainsi que sur le constat paradoxal selon lequel le taux de rendement obtenu serait plus élevé sur la R-D privée que sur la R-D publique et se révélerait également plus haut sur la recherche fondamentale que sur la R-D appliquée — si l'on songe que la R-D fondamentale est menée en majeure partie dans le secteur public.

Le Conseil économique ayant cessé ses activités en juin 1992, cette étude est publiée par le Groupe Communication Canada.

Le professeur Pierre Mohnen enseigne au Département des sciences économiques de l'Université du Québec à Montréal.

Judith Maxwell
présidente
Conseil économique du Canada

Résumé

Cette étude se compose de trois parties. La première précise la relation conceptuelle qui existe entre la R-D et la croissance de la productivité, et fait le tour des travaux empiriques publiés sur cette question. L'analyse vise à répondre à trois questions bien précises : quels sont les taux de rendement de la R-D pour la société et le secteur privé? Ces taux varient-ils selon la méthode employée pour les estimer? Les résultats diffèrent-ils selon les secteurs et les pays?

La deuxième partie présente les résultats d'une nouvelle étude empirique de la R-D menée à l'étranger et de ses retombées dans le secteur manufacturier canadien, où elle influe sur la productivité. Les contributions respectives de la R-D interne et de la R-D importée sont également évaluées et comparées.

La conclusion expose des recommandations de politique publique formulées à la lumière des données recueillies au sujet du rôle de la R-D dans la croissance de la productivité.

I R-D et croissance de la productivité : Survol des travaux publiés

Croissance de la productivité

La plupart des économistes conviendront sans doute que la croissance de la productivité peut se définir comme l'augmentation de la production qui n'est pas imputable uniquement à l'augmentation des facteurs de production. La croissance de la productivité mesure donc l'efficience de l'allocation des intrants dans une entreprise ou une économie. Nous entendons ici par productivité la productivité totale des facteurs (PTF) et non des indices partiels comme la productivité du travail. Par exemple, il est tout à fait normal — et sensé du point de vue économique — de substituer du travail au capital si (toutes choses restant égales par ailleurs) les taux salariaux baissent comparativement au coût du capital pour l'utilisateur. On observe alors une baisse de la productivité du travail parce qu'il faut davantage de travailleurs pour réaliser la même production. La productivité totale des facteurs reste toutefois inchangée, puisqu'il y a uniquement substitution d'intrants sur une courbe d'isoquant donnée.

L'indice de Divisia, couramment utilisé (ou l'approximation de Törnqvist lorsque le temps est discontinu), se définit comme le taux de croissance de la production diminué de la somme pondérée des taux de croissance des intrants, la part de chaque intrant dans le coût de la production servant de coefficient de pondération[1]. La notion de changement technique se trouve alors représentée par un déplacement de la fonction de production uniquement sous les hypothèses restrictives de rendements constants à l'échelle, de niveau optimal des intrants et d'établissement des prix au coût marginal[2].

Dans les études traitant de la mesure de la croissance, la hausse de la PTF, ou le terme résiduel inexpliqué, est assimilée au changement technique et rattachée à un certain nombre de facteurs explicatifs, notamment : l'effort de R-D interne; les effets de la R-D menés par d'autres entreprises, secteurs ou pays;

l'hypothèse dite du «rattrapage»; et certains éléments indépendants de la recherche-développement, comme les transformations structurelles, la réglementation publique et les découvertes de ressources naturelles (voir Denison, 1985, et Maddison, 1987). Denison évalue à 20 pour cent, pour la période 1929-1982, la contribution de la R-D à la croissance de la PTF dans les entreprises (secteur résidentiel exclu) aux États-Unis. Maddison estime également que, par rapport aux États-Unis, le facteur de rattrapage a représenté en moyenne 9 pour cent de la croissance du PIB en France, en Allemagne, au Japon, aux Pays-Bas et au Royaume-Uni (considérés collectivement).

Définition de la R-D

Cela fait près de 30 ans que les pays membres de l'OCDE recueillent des statistiques de recherche-développement en s'inspirant des principes établis dans le «manuel de Frascati», lequel définit la recherche scientifique et le développement expérimental (R-D) comme : «... les travaux de création entrepris de façon systématique en vue d'accroître la connaissance... ainsi que l'utilisation de ces connaissances pour de nouvelles applications» (OCDE, 1980).

Les données de l'OCDE sont subdivisées par :

- secteur d'exécution — entreprise, enseignement supérieur, État et établissements privés sans but lucratif (ÉPSBL);
- source de financement — entreprise, État, enseignement supérieur, ÉPSBL et étranger;
- genre de dépense — main-d'oeuvre, terrains et bâtiments, instruments et équipement, et autres dépenses courantes;
- type de travaux — recherche fondamentale, recherche appliquée et développement; et
- domaine d'activité — sciences naturelles et ingénierie, et sciences humaines.

D'après les chiffres de 1989 publiés par Statistique Canada en 1991, 54 pour cent de toute la R-D effectuée au Canada était exécutée par l'entreprise privée, 19 pour cent par les autorités fédérales ou provinciales et 26 pour cent par le secteur de l'enseignement supérieur. Pour ce qui est du financement de la R-D industrielle interne (c'est-à-dire la R-D exécutée au Canada par l'entreprise déclarante), 62 pour cent des fonds provenaient de l'entreprise privée, 20 pour cent de sources publiques et 16 pour cent de sources étrangères. Pour ce qui est de la répartition des frais, 50 pour cent étaient attribuables à la main-d'oeuvre, 37 pour cent aux autres dépenses courantes et 13 pour cent aux dépenses d'immobilisation. Six industries — matériel de télécommunication, construction d'aéronefs et de pièces, services techniques et scientifiques, machines de bureau, services informatiques, puits et produits pétrolier — représentaient plus de la moitié de toute la R-D intra-muros dans l'industrie.

La R-D peut viser soit l'amélioration des produits existants, soit la création de produits et de procédés nouveaux. D'après une enquête menée par McGraw-Hill (New York) en 1983, les entreprises de fabrication consacraient aux États-Unis 43 pour cent de leurs dépenses de R-D aux produits nouveaux, 19 pour cent aux procédés nouveaux et 38 pour cent à l'amélioration de produits existants. Selon la National Science Foundation, une analyse des dépenses de R-D effectuées dans l'industrie américaine en 1989 révélait que 4 pour cent étaient consacrés à la recherche fondamentale, 21 pour cent à la recherche appliquée et 75 pour cent au développement.

Contribution de la R-D à la croissance de la productivité

La R-D peut être considérée en un sens comme un produit; il s'agit d'un stock de connaissances accumulées grâce aux dépenses de R-D, qui se déprécie à un certain rythme (d'obsolescence) à mesure que des produits et des procédés nouveaux remplacent les anciens.

La R-D menée dans un secteur peut favoriser une hausse de la productivité dans le secteur d'exécution grâce à une diminution des prix de revient (innovations en matière de procédés) ou à une expansion des débouchés (innovations au niveau des produits). Outre qu'elle bénéficie à l'exécutant, la R-D peut aussi avoir des retombées dans d'autres secteurs, et ce, de deux façons principales (Griliches, 1979). En premier lieu, des effets externes peuvent être observés lorsqu'un utilisateur situé en aval bénéficie directement de la R-D effectuée sans avoir à payer la valeur totale de l'intrant — comme lorsqu'une banque achète des ordinateurs personnels qui lui permettent de rationaliser ses opérations. Dans cet exemple, les avantages que perçoit la banque, comparés au coût des ordinateurs, ont une valeur sensiblement plus élevée pour la banque que le prix qu'elle a payé. Il peut également arriver que des améliorations qualitatives ne se répercutent pas entièrement sur le nouveau prix d'un produit ou d'un service amélioré en raison du jeu de la concurrence, du coût de la surveillance et, bien souvent, d'une connaissance limitée ou incomplète, de la part de l'innovateur, de la valeur réelle que présentent les produits ou les services améliorés pour l'utilisateur final.

Le deuxième type de retombées provient de l'effet d'inspiration qu'un projet de recherche, une découverte technique ou une innovation dans un secteur déterminé peut avoir sur un autre secteur. Des idées nouvelles ouvrent souvent de nouvelles voies à la recherche et rendent les méthodes existantes moins rentables ou peu efficientes. Par exemple, les fibres synthétiques mises au point par l'industrie chimique ont trouvé d'importantes applications dans l'industrie textile. Les recherches entreprises par la NASA dans le but d'explorer l'espace ont ouvert la voie à un grand nombre d'innovations et de progrès dans l'industrie de l'automobile et le secteur de l'informatique. C'est

pourquoi les économistes font une distinction entre le taux de rendement privé et le taux de rendement social, c'est-à-dire les avantages que l'innovateur peut s'approprier et ceux qui lui échappent. Dans le deuxième cas, l'ensemble de la société bénéficie d'un taux de rendement maximal moyennant un coût apparent minimal.

La R-D peut aussi contribuer indirectement à la croissance de la productivité par ses interactions avec les autres intrants. Si le capital et la R-D sont complémentaires, une hausse du stock de R-D conduira tôt ou tard l'entreprise à investir en équipement faisant appel aux technologies nouvelle. Cohen et Lewinthal (1989) soulignent le rôle que joue la R-D dans la capacité d'apprentissage et d'assimilation. Le savoir n'est pas un bien public qui se laisse «comsommer» gratuitement. En fait, tout dépendant du type de connaissance et des caractéristiques de l'entreprise considérée, un effort plus ou moins intense de R-D interne doit être consacré à la mise en place de cette capacité d'assimilation.

La R-D peut enfin exercer des effets indirects sur la croissance de la productivité par le biais des interactions de l'offre et de la demande, ainsi que le montre le modèle mis au point par Nadiri et Schankerman (1981). La R-D fait baisser les coûts, ce qui entraîne un abaissement des prix et une augmentation de la demande. La hausse de production qui en résulte stimule la productivité lorsqu'il existe des rendements à l'échelle.

Données empiriques sur la contribution de la R-D à la croissance de la productivité : un tour d'horizon

Parmi les autres études où l'on passe en revue l'apport de la R-D à la croissance de l'économie et de la productivité (ou à celle de la productivité totale des facteurs), citons : Bernstein (1985), Bureau of Labor Statistics (1989), DeBresson (1991), Griliches (1988, 1991), Hanel et Palda (1989), Lichtenberg et Siegel (1989), Mairesse et Mohnen (1990), Mairesse et Sassenou (1991), McFetridge et Corvari (1985), Mohnen (1990), Nadiri (1991) et Robidoux (1991). Dans chacune de ces études, les travaux sont abordés sous un angle différent. Le rapide survol que nous présentons ici a toutefois pour objet de classer les travaux empiriques en fonction de trois questions : les résultats obtenus diffèrent-ils selon la méthode d'analyse employée? Le rapport entre la R-D et la croissance économique varie-t-il selon les pays? Observe-t-on des différences selon les secteurs?

Les études consacrées à la R-D et à la croissance de la productivité se répartissent en trois catégories selon qu'elles font appel à : 1) une fonction de Cobb-Douglas élargie; 2) un modèle plus élaboré de la demande des facteurs fondé sur la dualité des producteurs; ou 3) d'autres méthodes.

Fonction de Cobb-Douglas élargie

L'idée fondamentale, dans ce cas, consiste à estimer une fonction de production de Cobb-Douglas incorporant la R-D (la R-D interne, un indicateur de la R-D externe et, parfois, la R-D répartie entre la R-D privée et publique et entre la R-D fondamentale et appliquée) en plus du travail, du capital et, parfois, d'intrants intermédiaires à titre de facteurs de production.

La fonction de production est estimée en niveaux (à l'aide de données transversales) ou en taux de croissance (avec des données chronologiques ou de panel). Les productivités marginales sont parfois posées comme étant égales au coût des facteurs, la croissance de la productivité du travail ou de la PTF étant considérée comme la variable dépendante. Souvent, pour éviter d'avoir à construire un stock de R-D, on emploie le ratio investissement brut/ventes (considéré comme une approximation du ratio investissement net/production) comme variable de régression, au lieu du taux de croissance de la R-D. On estime alors le taux de rendement de la R-D (c'est-à-dire sa productivité marginale) plutôt que son élasticité-production[3]. Ce taux de rendement est considéré comme net ou brut selon que la R-D nette ou brute est incorporée à la variable d'intensité[4]. De façon générale, on impose une contrainte de rendements constants à l'échelle et l'on ajoute des variables explicatives supplémentaires comme le taux de syndicalisation, le taux d'utilisation des capacités, la qualité de la main-d'oeuvre ou des variables muettes sectorielles. En ce qui concerne la mesure des variables, on observe des différences entre les études en ce qui concerne les taux d'obsolescence et les structures de retard de la R-D utilisés, la correction ou la non-correction du double comptage de la R-D dans les intrants conventionnels et l'emploi de taux de croissance annuels ou à long terme (sur cinq ou dix ans). Lorsque l'on corrige les intrants habituels de la R-D qui y est incorporée, les taux de rendement calculés sont considérés comme excédentaires ou supérieurs à la normale[5]. Enfin, les conclusions des études sont fondées sur des données de type différent : données recueillies au niveau de l'entreprise et de l'industrie, données de panel, séries temporelles ou chronologiques ou données transversales. C'est pourquoi les résultats des différentes études sont difficiles à comparer.

Un certain nombre de constatations semblent toutefois revenir dans les différents travaux (le lecteur trouvera un exposé plus détaillé dans Mairesse et Sassenou (1989)). Par exemple, le fait de ne pas corriger le double comptage de la R-D tend à réduire l'élasticité-production de la R-D . Les élasticités sont plus faibles lorsqu'on utilise des séries chronologiques que lorsqu'on emploie des données transversales. Si l'on estime les rendements à l'échelle, les taux de rendement de la R-D diminuent. L'élasticité de la R-D est stable lorsque le taux d'obsolescence varie, mais les taux de rendement nets sont extrêmement sensibles à cet égard. Les résultats dépendent davantage de la spécification particulière choisie que du pays examiné. Les études fondées sur des données

micro-économiques permettent d'établir des taux de rendement privés, alors que celles qui font appel à des données sectorielles rendent également compte des retombées intrasectorielles de la R-D. Cependant, même les données recueillies au niveau de l'entreprise permettent d'interpréter la disparition des taux de rendement propres lorsqu'on incorpore à la régression des variables muettes pour l'industrie afin de refléter les retombées interentreprises : l'interaction des effets produits au niveau de l'industrie (la variable muette pourrait représenter les dépenses de R-D à l'échelle de l'industrie) prend le pas sur les effets observés au niveau de l'entreprise. Cependant, on peut également voir dans ce résultat général la manifestation d'effets d'opportunité propres à l'industrie. On a donc, plus simplement, conçu des mesures directes de la R-D empruntée, qui ont été introduites dans les régressions à titre d'intrants ou de facteurs de déplacement. La première méthode consiste tout simplement à faire la somme des stocks de R-D des autres entreprises de l'industrie ou des autres industries du pays.

Une deuxième méthode, dont Terleckyj (1974) a été l'initiateur, fait appel aux échanges interindustriels d'intrants intermédiaires ou de biens d'équipement. Le stock de R-D empruntée de l'industrie i est obtenu en pondérant les stocks de R-D de toutes les autres industries en proportion des achats, faits par i, d'intrants intermédiaires ou de biens d'équipement provenant de ces autres industries. On suppose que, plus i achète à j, plus elle lui emprunte des connaissances[6].

Une troisième méthode se sert des données sur les brevets, classées tant par industrie d'origine que par industrie(s) utilisatrice(s), pour élaborer une matrice des flux technologiques interindustriels. Cette méthode est analogue par ailleurs à celle de Terleckyj.

Dans une quatrième approche, la matrice des flux technologiques interindustriels est basée sur les innovations classées par industries d'origine et industries utilisatrices.

Les tenants d'une cinquième méthode établissent les coefficients de pondération à partir d'une mesure de proximité statistique fondée sur la position des entreprises dans l'espace technologique des brevets ou de la R-D.

La connaissance et les retombées qui l'accompagnent sont également mesurées, parfois, à l'aide des extrants de la R-D. Deolalikar et Evenson (1988) se servent du nombre de brevets accordés aux États-Unis pour mesurer l'offre de technologie internationale en Inde et du nombre de brevets accordés en Inde pour mesurer l'activité créatrice dans ce pays. Adams (1990) calcule un stock de connaissances en additionnant les nombres d'articles dans chaque discipline scientifique et en les pondérant par la composition des scientifiques dans chaque industrie. La variable retombées est mesurée par une somme pondérée des stocks de connaissances des industries, selon la définition précédente, les coefficients de pondération étant calculés en fonction d'une mesure de proximité des industries dans l'emploi des scientifiques par discipline.

Le tableau 1 présente une liste partielle des études empiriques de la R-D et de la croissance de la productivité qui relèvent de cette catégorie (extrants de la R-D). Le survol se limite principalement aux entreprises et aux industries de fabrication[7]. Pour reprendre les termes de Griliches (1988), «le taux de rendement estimatif de la R-D se situe généralement entre 20 et 50 pour cent, la plupart des estimations récentes se trouvant dans la partie inférieure de cette fourchette». En fait, à l'aide d'un ensemble de données élaboré avec soin pour les entreprises manufacturières des États-Unis, Lichtenberg et Siegel (1989) ont estimé un taux de rendement brut de 13 pour cent. Les taux de rendement de la R-D indirecte présentent une dispersion beaucoup plus grande, qui est peut-être due en partie à des choix différents de matrices de pondération (voir Wolff et Nadiri, 1987 et Sterlacchini, 1989). On pourrait cependant également faire valoir que les taux de rendement de la R-D indirecte sont en général nettement plus élevés que les taux de rendement propres.

Les différences semblent relativement négligeables d'un pays à l'autre et, pour les raisons que nous avons mentionnées précédemment, difficiles à déterminer à l'aide des données présentées dans des études hétérogènes[8]. (Le principal problème vient de ce que les études et enquêtes font souvent appel à des méthodologies différentes.) En ce qui concerne le Canada, un certain nombre d'études ne confirment guère l'existence d'une relation étroite entre la R-D et la croissance de la productivité. Lithwick (1969) n'a pu établir de lien entre la R-D et la croissance de la PTF. Globerman (1972) et Postner et Wesa (1983) calculent un taux de rendement direct de la R-D qui n'est pas sensiblement différent de zéro. Hartwick et Ewen (1983) n'ont pas constaté de corrélation significative entre la croissance de la productivité dans un secteur et la R-D incorporée à ses intrants intermédiaires. Par contre, Longo (1984) et Hanel (1988) ont obtenu des résultats conformes à l'ordre de grandeur habituel.

Un certain nombre d'autres résultats méritent d'être notés :

- Un taux de rendement plus élevé sur la R-D financée par les entreprises que sur celle qui est financée par des fonds publics a été constaté par Terleckyj (1974), Griliches (1980), Mansfield (1980), Griliches et Lichtenberg (1984), Griliches (1986), Hanel (1988), et Lichtenberg et Siegel (1989). Le taux de rendement de la R-D financée par le secteur privé a été estimé à 27,5 pour cent par Mansfield (1980), entre 9,2 et 33,4 pour cent par Griliches et Lichtenberg (1984), à 35,3 pour cent par Lichtenberg et Siegel (1989), à un niveau de 28 à 37 pour cent par Terleckyj (1974) et à des taux de 40 à 60 pour cent par Wolff et Nadiri (1987). Griliches (1986) estimait également que la R-D financée par l'entreprise privée comportait une prime de 50 à 180 pour cent. Hall et Mairesse (1992) ont toutefois constaté que la R-D publique avait un effet plus prononcé (que la R-D financée par l'entreprise privée) une fois qu'elle dépassait 20 pour cent du budget de R-D de l'entreprise.

Tableau 1

Taux de rendement estimés de la R-D directe et indirecte ou élasticités à l'aide de la fonction Cobb-Douglas élargie

Étude	Échantillon[a]	R-D directe[b]		R-D indirecte[b]		
		Élas-ticité (%)	Taux de rendement (%)	Elas-ticité (%)	Taux de rendement (%)	Matrice de base
Canada						
Globerman (1972)	13 industries 1960-68		0			
Postner-Wesa (1983)	13 industries manufacturières 1966-71 et 1971-76		0	18 (-) 26	(internes) (externes)	intrants interm.
Longo (1984)	110 entreprises de R-D Éch transversal 1980		24			
Hanel (1988)	12 industries manufacturières du Québec 1971-77 et 1975-82		50		100	intrants interm.
Poole-Bernard (1992)	4 industries faisant beaucoup de R-D pour la défense 1961-85		(-) 6 (-) 21			
États-Unis						
Minasian (1969)	17 entreprises chimiques 1948-57		54			
Griliches (1980)	883 entreprises Éch. transversal 1963 et 1957-65	7	27[c]			
Griliches (1980b)	39 industries manufacturières 1959-68 et 1969-77	7 0	42 0			
Mansfield (1980)	16 entreprises (pétrole et chimie) 1960-76		28			

Tableau 1 suite

Étude	Échantillon[a]	R-D directe[b]		R-D indirecte[b]		
		Élas-ticité (%)	Taux de rendement (%)	Elas-ticité (%)	Taux de rendement (%)	Matrice de base
États-Unis (suite)						
Nadiri (1980)	Ensemble de l'économie 1949-78	6				
	Économie privée totale 1949-78	10				
Nadiri (1980b)	Ensemble du secteur manufacturier	11				
	biens durables	8				
	biens non durables	19				
Link (1981b)	174 entreprises 1971-76		0			
Schankerman (1981)	883 entreprises Éch. transversal 1963		24 - 73			
Griliches-Mairesse (1983)	185 entreprises françaises 343 entreprises américaines 1973-78		19			
Link (1983)	302 entreprises manufacturières 1975-79		0 - 5			
Griliches-Mairesse (1984)	133 entreprises 1966-77	6	30			
Clark-Griliches (1984)	924 entités commerciales 1970-80		18 - 20			
Griliches-Lichtenberg (1984)	27 industries 1959-76 et sous-périodes		3 - 5			

Tableau 1 (suite)

Étude	Échantillon[a]	R-D directe[b]		R-D indirecte[b]		
		Élasticité (%)	Taux de rendement (%)	Elasticité (%)	Taux de rendement (%)	Matrice de base
États-Unis (suite)						
Griliches (1986)	491 entreprises 1972 et 1977 Éch. transversaux	9 - 11	33 - 39			
	911 entreprises 1966-77	11				
Patel-Soete (1988)	Ensemble de l'economie 1956-85	6				
Lichtenberg-Siegel (1989)	5,240 entreprises 1972-85 et sous-périodes		13			
Griliches-Mairesse (1990)	525 entreprises 1973-80		25 - 41			
Terleckyj (1974)	20 entreprises manufacturières 1948-66		(total) 12 (privé) 29		45 78	intrants interm.
	13 industries non-manufacturières 1948-66		(total) 0		187 187	intrants interm.
Terleckyj (1980)	20 entreprises manufacturières 1948-66		(privé) 0		183	intrants interm.
Sveikauskas (1981)	144 industries 1959-69		7 - 25		792 1200	biens d'équipe
Scherer (1982, 1984)	36 à 87 industries 1964-78 et sous-périodes		29 - 43 (propre prod.)		64 - 104 (procédés propres + prod importés) 147 (prod. importés)	brevets

Tableau 1 (suite)

Étude	Échantillon[a]	R-D directe[b]		R-D indirecte[b]		
		Élasticité (%)	Taux de rendement (%)	Elasticité (%)	Taux de rendement (%)	Matrice de base
États-Unis (suite)						
Griliches-Lichtenberg (1984b)	193 industries manufacturières 1959-78 sous-périodes		21 - 76		41 - 62	brevets
					procédés propres + (prod. importés) 0 - 90 (prod. importés)	
Jaffe (1986)	432 entreprises 1973 et 1979		25	10		mesure de prox. statist.
Wolff-Nadiri (1987)	19 entreprises manufacturières 1947, 1958,1963, 1967, 1972		11		90	intrants interim.
	50 secteurs manufacturièrs Mêmes périodes		19		10	biens d'équipe
					0	intrants interim.
Japon						
Odagiri (1983	370 entreprises 1969-81		26			
Odagiri (1985)	15 industries manufacturières 1960-77 et sous-périodes		(-) 66 (-) 24		0	intrants interim.
Odagiri-Iwata (1985)	135 entreprises 1966-73		17 - 20			
	168 entreprises 1974-82		11 - 17			
Griliches-Mairesse (1986)	406 entreprises 1973-80		20 - 56			

Tableau 1 (suite)

Étude	Échantillon[a]	R-D directe[b]		R-D indirecte[b]		
		Élasticité (%)	Taux de rendement (%)	Elasticité (%)	Taux de rendement (%)	Matrice de base
Japon (suite)						
Patel-(1988)	Ensemble de l'économie 1956-85	37				
Sassenou (1988)	394 entreprises, Éch. transversal 1976	14		10		somme
	1973-81	16		de l'effet propre		simple
Mansfield (1988)	17 industries manufacturières 1960-79	42				
Goto-Suzuki (1989)	50 industries 1978-83		26		80	biens d'équip. + intr. interun
France						
Griliches-Mairesse (1983)	185 entreprises françaises 343 entreprises américaines 1973-78		31			
Cunéo-Mairesse (1984)	182 entreprises 1972-77 panel	22 - 33	55[c]			
Mairesse-Cunéo (1985)	390 entreprises 1974-79	9 - 26				
Patel-Soete (1988)	Ensemble de l'économie 1956-85	13				
Hall-Mairesse (1992)	196 entreprises 1980-87 panel	5 - 48	22 - 34			

Tableau 1 (suite)

Étude	Échantillon[a]	R-D directe[b]		R-D indirecte[b]		
		Élasticité (%)	Taux de rendement (%)	Elasticité (%)	Taux de rendement (%)	Matrice de base
Allemagne de l'Ouest						
Bardy (1974)	4 entreprises chimiques 1951-71	92 - 97				
Patel-Soete (1988)	Ensemble de l'économie 1956-85	21				
Belgique						
Fecher (1989)	292 entreprises 1981-83		0	0.5		intrants interim.
Royaume-Uni						
Patel-Soete (1988)	Ensemble de l'économie 1956-85	7				
Sterlacchini (1989)	15 industries manufacturières 1954-84 et sous-périodes		9 - 14		9 - 12 14 - 30	intrants interim flux d'innov

a) Taux de croissance moyen sur l'ensemble de la période, sauf indication contraire.

b) Seuls les résultats significatifs sont indiqueés.

L'absence d'un résultat significatif est dénotée par 0.

c) Conversion à l'aide de la moyenne géométrique de la valeur ajoutée et de la R-D.

- Terleckyj (1974, 1980) n'a pas constaté de retombées appréciables de la R-D financée par l'État. Le même résultat a été obtenu par Wolff et Nadiri (1987).
- Selon les observations récentes, la R-D militaire n'entraîne pas de croissance de la PTF. Poole et Bernard (1992) ont observé une contribution négative indéniable dans l'industrie aérospatiale et électronique au Canada ainsi que — encore que ce résultat soit moins clair — dans la construction navale et l'industrie chimique. Dans le même ordre d'idées, Lichtenberg (1984) et (1988) a obtenu des données révélant que la R-D publique évinçait la R-D privée, au moins au titre des marchés publics de R-D non concurrentiels.

- Le taux de rendement obtenu est plus élevé sur la R-D fondamentale que sur la recherche appliquée ou le développement. Le taux de rendement de la R-D fondamentale était estimé à 178 pour cent dans Mansfield (1980), à 231 pour cent dans Link (1981) et à 134 pour cent dans Lichtenberg et Siegel (1989). D'après Link (1981b), le taux de rendement estimatif de la R-D fondamentale s'établissait à 87 pour cent dans le secteur de la chimie, à 586 pour cent dans les entreprises fabriquant des machines et à 626 pour cent dans l'industrie du matériel de transport. Griliches (1986) estimait entre 250 et 450 pour cent la prime que rapporte la recherche fondamentale. Dans le cas du Japon, cependant, Mansfield (1988) a conclu à l'existence d'un taux de rendement plus élevé sur la R-D appliquée que sur la recherche fondamentale (60 et 0 pour cent respectivement). Dans le cas de certaines entreprises manufacturières françaises, Hall et Mairesse (1992) ont eux aussi constaté un rendement inférieur de la R-D fondamentale.
- En ce qui concerne le taux de rendement de la R-D consacrée respectivement aux procédés et aux produits, un rendement plus élevé a été constaté dans le cas des procédés par Scherer (1982), Griliches et Lichtenberg (1984b), et Clark et Griliches (1984). Dans leurs études, Griliches et Lichtenberg (1984b) estiment le taux de rendement de la R-D portant sur les procédés à des niveaux appréciables, qui se situent entre 58 et 76 pour cent, tandis que les taux s'étagent entre 21 et 29 pour cent dans le cas de la R-D consacrée aux produits.
- Sur le plan transversal, l'élasticité de la production vis-à-vis de la R-D est plus élevée dans les secteurs scientifiques (où il se fait beaucoup de recherche). Le même résultat a été obtenu par Griliches (1980), Griliches et Mairesse (1984), Cunéo et Mairesse (1984), Mairesse et Cunéo (1985), Sassenou (1988), Odagiri (1983), et Englander, Evenson et Hanazaki (1988). Si l'on passe par contre sur le plan chronologique, où les élasticités ont tendance à être plus faibles, les deux types de secteurs ne présentent guère de différences (voir Griliches et Mairesse, 1984).
- Bien qu'il n'ait pas travaillé expressément sur des mesures de la R-D, Adams (1990) a conclu à l'existence d'un effet retardé des connaissances propres sur la croissance de la PTF, effet se produisant après 10 à 20 ans, et à un retard encore plus long (30 ans) dans le cas des connaissances acquises sous forme de retombées.
- L'argument selon lequel la productivité de la R-D aurait diminué a été réfuté par Scherer (1982), Griliches et Mairesse (1984), Clark et Griliches (1984), Griliches et Lichtenberg (1984), Griliches (1986), et BLS (1989). Néanmoins, Griliches (1986), Griliches et Lichtenberg (1984), Griliches (1980b) et Odagiri (1985) ont conclu à une diminution

de l'importance de la R-D. À l'aide d'un ensemble de données plus récent et meilleur, Lichtenberg et Siegel (1989) ont obtenu des estimations sensiblement plus élevées pour la période 1981-1985 que pour les années 1977-1980 ou 1973-1976. On trouve dans Griliches (1988) un long exposé consacré à cette question. Peut-être la baisse de productivité de la R-D au cours des années 70, suivie par un rétablissement pendant les années 80, reflète-t-elle tout simplement l'évolution des taux de rendement observée sur la durée du cycle des affaires par Griliches et Mairesse (1990).

- Les études ne sont pas concluantes au sujet d'une baisse des effets externes de la R-D. Cette hypothèse a été corroborée par Griliches et Lichtenberg (1984) ainsi que par Sterlacchini (1989). Scherer (1982) y souscrit dans le cas de données agrégées, mais non pour des données décomposées. Englander, Evenson et Hanazaki (1988) admettent le bien-fondé de cette hypothèse pour des données désagrégées, sans toutefois obtenir des résultats statistiquement significatifs.
- Les différences sont plus prononcées d'un secteur à l'autre qu'entre les divers pays. Englander, Evenson et Hanazaki (1988) se sont livrés à des régressions pour six pays, les données étant regroupées par pays, au cours d'une période couvrant approximativement les années 1970-1983, pour 16 industries à deux chiffres. Ils ont constaté que l'élasticité-production de la R-D utilisée — comprenant à la fois la R-D propre et la R-D empruntée — allait de 50 pour cent dans le textile à -16 pour cent dans les services sociaux et privés. Les résultats sont souvent négatifs dans les secteurs autres que l'industrie manufacturière, où les problèmes de mesure se font sentir avec plus d'acuité. Link (1981b) estime que les taux de rendement, pour les grandes entreprises, vont de 25 pour cent dans l'industrie chimique à 160 pour cent dans le secteur du matériel de transport.
- La contribution procentuelle de la R-D tant à la croissance qu'au ralentissement de la PTF, dans une opération de calcul de la croissance, varie selon que l'on considère le taux de rendement privé de la R-D ou son taux de rendement social. Le Bureau of Labor Statistics (1989), à l'aide d'une élasticité-R-D de la production de 15 pour cent au cours des années 1948-1973, puis d'une élasticité de 14 pour cent pendant les années 1973-1987, conclut à une contribution directe de la R-D de 0,50 pour cent à la croissance de la PTF pendant la première période et de 0,49 pour cent au cours de la deuxième pour l'industrie manufacturière américaine, et à une contribution nulle pour les autres secteurs. En revanche, Kendrick (1984) fait état d'une baisse, de 1,2 pour cent pendant les années 1948-1973 à 0,7 pour cent au cours des années 1973-1981, tandis que Scherer (1983) impute de 0,2 à 0,3 pour cent de

contribution annuelle de la R-D au ralentissement de la productivité. Cependant, aussi bien Kendrick que Scherer tiennent compte dans leurs calculs des effets indirects de la R-D.

Modèles de demande de facteurs fondés sur la théorie de la dualité

On retrouve dans cette catégorie les études faisant appel à une représentation duale de la technologie et à une forme fonctionnelle flexible. Là encore, la prudence s'impose lorsqu'on veut comparer les résultats des différentes études, en raison des nombreuses différences qu'elles présentent. La forme fonctionnelle est une fonction de Cobb-Douglas généralisée trans-log ou une forme quadratique. Les facteurs sont généralement le travail, les intrants intermédiaires, le capital physique et le capital de R-D, mais leur quasi-fixité (c'est-à-dire la fixité à court et à moyen terme) n'est pas toujours traitée de la même manière. Les modèles peuvent être statistiques ou dynamiques, avec des niveaux d'intrants optimaux ou non optimaux. Dans les modèles dynamiques, les hypothèses relatives à la formation des attentes, la forme des coûts d'ajustement et l'horizon de planification peuvent différer. Les prix, tout particulièrement les taux d'intérêt, les taux de dépréciation et les paramètres fiscaux, ne sont pas toujours mesurés de la même manière selon les études. Les retombées de la R-D peuvent également être représentées de différentes manières, ainsi que nous l'avons vu à la section précédente. Enfin, les données à l'aide desquelles les modèles sont estimés peuvent se rapporter à l'entreprise ou à l'industrie, être chronologiques ou transversales ou être des données de panel.

Par rapport à une fonction de Cobb-Douglas élargie, l'approche duale encadre davantage le processus d'estimation sur le plan des comportements, mais elle fait appel à une structure technologique plus restrictive et exploite davantage l'information disponible sur l'utilisation des facteurs et l'investissement, accroissant ainsi l'efficience statistique (au risque d'entraîner éventuellement des erreurs de spécification du comportement). Étant donné le nombre de degrés de liberté supplémentaires qu'entraîne l'estimation conjointe de plusieurs équations, on peut exploiter des séries temporelles plus courtes. De façon générale, on peut estimer séparément des données sectorielles sans devoir recourir au regroupement et à l'imposition de paramètres communs. Étant donné la flexibilité des formes fonctionnelles, l'interaction de la R-D et des autres intrants peut être estimée, et il est possible de tenir compte des rendements à l'échelle et d'une utilisation incomplète des capacités de production. Les modèles dynamiques permettent d'obtenir d'autres résultats, comme la vitesse d'ajustement, le coût d'ajustement et les liens différentiels de la R-D avec les autres intrants le long de la courbe d'ajustement.

Si la méthode duale fournit des aperçus plus intéressants que la fonction de Cobb-Douglas, elle n'est pas pour autant exempte d'imperfections. Dans les

fonctions de coût total ou de coût variable, la production est considérée comme exogène, ce qui est contraire à la réalité et risque d'entraîner une estimation biaisée des paramètres du modèle. Cette inférence découle dans une large mesure de l'information renfermée dans les statistiques de prix des facteurs, dont la fiabilité n'est pas toujours assurée. Les modèles sont généralement estimés en niveaux, ce qui entraîne un danger de colinéarité entre les variables de production, de stock et de tendance. Afin de respecter les conditions de courbure imposées par la théorie de la dualité, on ne peut souvent estimer que des versions tronquées des formes fonctionnelles flexibles.

Le tableau 2 présente un aperçu à peu près complet des études relevant de cette catégorie. On constatera que cette méthode a servi à estimer les taux de rendement privés ou sociaux du réseau de Bell, pour diverses industries, d'après des données établies au niveau de l'entreprise ou de l'industrie, ainsi que pour l'ensemble du secteur manufacturier de divers pays. On remarque également que très rares sont les études strictement comparables.

Le tableau 3 présente les taux de rendement privés et sociaux estimés pour divers secteurs aux États-Unis et au Canada. Les résultats paraissent dépendre davantage du modèle utilisé que du pays étudié (comparer par exemple Bernstein et Nadiri (1989) à Bernstein (1988) ou Bernstein (1989) à Bernstein et Nadiri, 1988)). Il ressort également des résultats que les différences entre industries sont plus frappantes que les écarts entre pays.

Ainsi que l'indiquent les résultats obtenus par Bernstein et Nadiri (1988), Bernstein (1989) et Mohnen et Lépine (1991), les taux de rendement bruts estimés de la R-D diffèrent sensiblement d'une industrie à l'autre. Il existe des profils sectoriels bien particuliers en matière de dispersion et de réception des retombées de la R-D. Ainsi, l'industrie des machines autres qu'électriques et celle des produits chimiques sont la source de retombées appréciables en matière de R-D. Dans ces secteurs, les taux de rendement sociaux de la R-D peuvent dépasser les taux de rendement privés de 0 à 500 pour cent. La fourchette varie de façon notable entre les industries.

Il convient en outre de noter tout particulièrement les résultats suivants :

- Les taux de rendement internes moyens suivants, nets de la dépréciation et des coûts d'ajustement, ont été obtenus à partir de données relatives à l'ensemble du secteur manufacturier : 11 pour cent aux États-Unis et en Italie, 12 pour cent en France, 13 pour cent en Allemagne de l'Ouest et 15 pour cent au Japon. La croissance de la R-D a contribué à hauteur de 2 pour cent à l'augmentation de la productivité du travail en Allemagne, à raison de 3 pour cent aux États-Unis, au Japon et en Italie, et dans une mesure située entre 4 et 8 pour cent en France (selon qu'on tient compte de la valeur ajoutée ou de la production brute). On ne peut imputer le ralentissement de la productivité à la R-D.
- Dans le cas d'une industrie de pointe (celle des machines électriques),

Tableau 2

Études sur la R-D fondées sur une représentation dualiste de la technologie

Étude	Données	Spécification*	R-D indirecte
Bernstein (1988)	680 entreprises can. dans 7 industries 1978-81 entr. regroupées par industrie	fonction de coût translog intrants = L, M, K, R aucun quasi fixe S = var. de déplacement pas de changement techn.** modèle statique rend. var. à l'échelle	intraindustrie = somme R-D des autres entreprises interindustrie = somme R-D des autres industries
Bernstein (1989)	9 ind. canadiennes 1963-83	f. de coût Cobb-Douglas généralisée intrants = L, M, K, R R = fixe S = var. de déplacement pas de change techn. modèle statique rend. var. à l'échelle	vectorisation
Bernstein-Nadiri (1988)	5 ind. américaines 1958-81	comme dans Bernstein (1989)	vectorisation
Bernstein-Nadiri (1989)	48 entre. américaines dans 4 industries 1965-78 entre. regroupées par industrie	f. de valeur quadratique généralisée intrants = L, K, R K, R = quasi-fixes S = var. de déplacement pas de chang. techn.	intraindustrie = somme R-D des autres entreprises
Bernstein-Nadiri (1990)	45 entreprises américaines dans 4 industries 1959-66 entr. regroupés par industrie	f. de production inversée quadratique intrants = L, M, K, R K, R = quasi-fixes; pas de R-D pas de chang. techn. modèle dynamique attentes rationnelles rend. var. à l'échelle	

Tableau 2 (suite)

Étude	Données	Spécification*	R-D indirecte
Cardani-Mohnen (1984)	ensemble ind. manuf. France et Italie 1965-77	f. de coût quadratique intrants = L, M, K, R K, R = quasi fixes pas de retombées de R-D T = variable de déplacement modèle dynamique attentes statiques rend. constants à l'échelle	
Mohnen-Nadiri (1985)	dens. ind. manuf. France et Italie 1965-77	f. de coût quadratique intrants = L, M, K, R K, R = quasi fixes pas de retombées de R-D pas de chang. techn. modèle dynamique attentes statiques rend. constants à l'échelle	
Mohnen-Nadiri-Prucha (1986)	ensemble ind. manuf. É.-U., Japon et Allemagne 1965-66 - 1977-78	comme dans Mohnen-Nadiri (1985)	
Mohnen-Lépine (1991)	12 industries canadiennes 1975, 1977, 1979 1981-1983 données regroupées	f. de coût Cobb-Douglas généralisée intrants = L, M, K, R, P K, R = quasi fixes S = var. de déplacement pas de chang. techn. modèle statique rend. constants à l'échelle	interindustrie = matrice des brevets
Nadiri-Prucha (1990a)	réseau de Bell É.-U. 1951-79	f. de coût quadratique intrants = L, M, K, R K, R = quasi fixes pas de retombées de R-D T = var. de déplacement modèle dynamique attentes statiques et rationnelles	

Tableau 2 (suite)

Étude	Données	Spécification*	R-D indirecte
Nadiri-Prucha (1990b)	industries des machines électriques, É.-U. et Japon 1968-79	f. de coût quadratique intrants = L, M, K, R K, R = quasi fixes pas de retombées de R-D T = var. de déplacement modèle dynamique attentes statiques technol. homogène	
Schankerman-Nadiri (1986)	réseau de Bell É.-U. 1947-76	f. de coût Cobb-Douglas généralisée intrants = L, M, K, R K, R = quasi fixes pas de retombées de R-D pas de chang. technique modèle statique rend. var. à l'échelle	
Cette étude (1992)	ensemble ind. manuf. canadiennes 1964-83	f. de coût McFadden généralisée intrants = L, M, K, R, S K, R, S = quasi fixes T = var. de déplacement modèle dynamique attentes rationnelles rend. var. à l'échelle	internationale = importations de prod. de pointe
Nadiri-Mamuneas (1991)	12 industries manuf. américaines données regroupées 1956-86	f. de coût Cobb-Douglas généralisée intrants = L, M, K aucun quasi fixe pas de retombées de R-D I, R, P, T= var. de déplacement modèle statique rend. constants à l'échelle	

Tableau 2 (suite)

Étude	Données	Spécification*	R-D indirecte
Suzuki (1991)	20 entreprises japonaises de l'ind. machines él. données regroupées 1979-87	f. de coût translog intrants = L, M, K, R K, R = quasi fixes pas de retombées de R-D T = var. de déplacement modèle dynamique rend. var. à l'échelle	
Bernstein-Nadiri (1991)	6 industries américaines 1957-86	f. de coût translog intrants = L, M, K, R K, R = quasi fixes production endogène S = var. de déplacement pas de chang. technique modèle dynamique rend. var. à l'échelle attentes rationnelles	vectorisation

* L = travail K = capital physique R = stock de R-D
M = intrants intermédiaires P = paiements au titre de la technologie étrangère S = retombées
E = énergie I = infrastructure publique
RP = R-D publique T = indice de changement technique

** L'absence de changement technique signifie l'absence de changement technique neutre.

Nadiri et Prucha (1990b) ont conclu que l'apport de la R-D à la croissance de la productivité du travail était appréciable mais en diminution aux États-Unis, sa contribution étant passée de 27 pour cent au cours de la période 1968-1973 à 3 pour cent pendant les années 1974-1979. En revanche, cette contribution était plus faible au Japon, mais elle était passée de 4 à 10 pour cent au cours de la même période. Suzuki (1991) a signalé que la contribution de la R-D avait de nouveau doublé au Japon entre les années 1978-1983 et 1983-1988.

- Dans le réseau de Bell aux États-Unis, la contribution de la R-D à la croissance de la productivité du travail ne s'élevait qu'à 1 pour cent. Le taux de rendement interne net est passé de 17 pour cent au cours des années 50 et 60 à 29 pour cent vers la fin de la décennie 70.

Tableau 3

Taux de rendement privés et sociaux dans des industries et des pays choisis : méthode dualiste (%)

Industrie	Étude											
	Canada						United States					
	Bernstein[b] (1988)		Bernstein[c] (1989)		Mohnen[c] et Lépine (1991)		Bernstein[c] et Nadiri (1988)		Bernstein[b] et Nadiri (1989)		Bernstein[b] et Nadiri (1991)	
	priv.	soc.[a]	priv.	soc.	priv,	soc.	priv.	soc.	priv.	soc.	priv.	soc.
Aliments et boissons	12	20										
Pâtes et papier	12	20										
Métallurgie de base			26	42	17	51						
Fabr. de prod. mét	12	20	29	29	274	314					22	22
Machines autres qu'électriques	12	19	24	94			27	58	7	9	22	39
machines de bureau					6	12						
autres machines					27	117						
Matériel de Transport			28	29			10	11			18	26
Aéronefs et pièces	12	23			8	11						
Produits électriques	12	26	38	38			15	18			15	18
mat. de communication					5	24						
autres produits électroniques					33	47						

Tableau 3 (suite)

Industrie	Étude											
	Canada						United States					
	Bernstein[b] (1988)		Bernstein[c] (1989)		Mohnen[c] et Lépine (1991)		Bernstein[c] et Nadiri (1988)		Bernstein[b] et Nadiri (1989)		Bernstein[b] et Nadiri (1991)	
	priv.	soc.[a]	priv.	soc.	priv,	soc.	priv.	soc.	priv.	soc.	priv.	soc.
Produits chimiques	12	26	25	81			13	21	7	12	21	40
médicaments					15	17						
autres produits chimiques					51	132						
Produits pétroliers			40	87	48	52			7	16		
Inst. scientifiques					49	75	17	111	7	14	29	111
Caoutchouc et mat. plast			47	89	143	157						
Puits de gaz et de pétrole			33	37								

a) Le taux de rendement social est considéré comme égal au taux de rendement privé, augmenté des effets externes de réduction des prix subis par toutes les entreprises de l'échantillon dans chaque industrie et des effets de réduction des coûts exercés sur toutes les industries de l'échantillon. Les valeurs moyennes ou correspondant au milieu de l'échantillon sont indiquées.

b) Taux de rendement nets (de l'amortissement).

c) Taux de rendement bruts.

- Les coûts d'ajustement marginaux sont généralement plus élevés pour la R-D que pour le capital physique, de sorte que la vitesse d'ajustement est plus faible et le taux de rendement privé plus élevé pour la R-D que pour le capital.
- Les retombées intersectorielles exercent des pressions à la baisse plus marquées sur le coût moyen que ne le font les retombées intrasectorielles. Ces dernières réduisent davantage les coûts unitaires dans les secteurs où la R-D représente une forte proportion du prix de revient, alors que les retombées intersectorielles contribuent davantage à l'abaissement des coûts dans les industries où la R-D constitue une faible proportion des coûts. Toutefois, les retombées intrasectorielles contribuent davantage au taux de rendement social que les retombées intersectorielles. Les variations entre industries sont dues principalement à l'effet marginal des retombées intrasectorielles.
- Dans Bernstein (1988), l'effet intersectoriel est un substitut de la R-D propre, tandis que l'effet intrasectoriel est un substitut uniquement dans les secteurs qui ont une faible propension à engager des dépenses de R-D. Dans Bernstein et Nadiri (1989), la R-D propre et les retombées intrasectorielles sont des substituts. C'est le cas pour la R-D propre et les retombées intersectorielles de la R-D dans Mohnen et Lépine (1991). La deuxième partie de la présente étude souligne la complémentarité de la R-D propre et de la R-D importée de l'étranger.
- Le capital physique et les retombées intersectorielles de la R-D sont complémentaires dans les industries qui font beaucoup de recherche-développement et sont des substituts dans les autres secteurs. Le lien avec le capital physique est moins clair dans le cas des retombées intrasectorielles (voir Bernstein, 1988). Dans Bernstein et Nadiri (1988), ce lient dépend du secteur considéré; dans Bernstein et Nadiri (1989), les deux éléments sont présentés comme des substituts.
- Les taux de rendement de la R-D dépassent ceux du capital physique de 2,5 à 4 fois dans Bernstein (1989), de 1,5 à 2 fois dans Bernstein et Nadiri (1988), de 67 à 123 pour cent dans Bernstein et Nadiri (1989), et de 16 à 340 pour cent dans Bernstein et Nadiri (1990).
- La R-D et le capital physique sont généralement considérés comme complémentaires.
- Les taux de rendement de la R-D financée par le gouvernement fédéral sont inférieurs à ceux de la R-D privée, mais la R-D publique rapporte un taux de rendement plus élevé que l'infrastructure publique (Nadiri et Mamuneas, 1991).
- Les retombées semblent être circonscrites à un réseau relativement restreint : pour chaque industrie «émettrice», on ne compte qu'un petit nombre de «récepteurs», et vice versa. Le réseau n'est pas symétrique

(voir Bernstein (1989) et Bernstein et Nadiri (1988 et 1991)).

- La méthode duale ne semble pas produire des résultats extrêmement différents de ceux que donne la fonction de Cobb-Douglas élargie, mais elle fait ressortir des différences appréciables entre industries.

Autres méthodes

Il s'agit d'un ensemble d'études qui ne s'inspirent d'aucune des deux méthodes précédentes. Elles sont fondées soit sur des études de cas, soit sur d'autres modèles théoriques.

Mansfield et coll. (1977) calculent les taux de rendement internes réels privés et sociaux produits par 17 innovations industrielles. Le rendement privé correspond aux bénéfices revenant à l'innovateur nets des coûts de production, de commercialisation et de mise en oeuvre de l'innovation, moins les profits que l'innovateur aurait réalisés sur les produits remplacés par l'innovation et moyennant une correction visant à tenir compte de la R-D stérile. Mansfield calcule les avantages pour la société en additionnant la variation du surplus du consommateur due à la baisse de prix possible et les profits réalisés par les imitateurs aux avantages privés et en en soustrayant à la fois les frais de R-D engagés par les entreprises autres que l'innovateur pour essayer d'aboutir au même résultat que ce dernier et les coûts environnementaux éventuels. Il ressort des résultats que le taux de rendement social est en général sensiblement supérieur au taux de rendement privé : le taux de rendement social médian est d'environ 56 pour cent, contre un taux de rendement privé médian d'à peu près 25 pour cent. De la même façon, Tewksbury et coll. (1980) ont étudié le taux de rendement de 20 innovations. Ils ont obtenu un taux de rendement social médian de 99 pour cent, contre un taux de rendement privé médian de 27 pour cent.

Bresnahan (1986) s'attaque à la mesure du gain de bien-être provenant de la baisse du ratio prix/performance des ordinateurs dans le secteur des services financiers (banque, assurance, courtage et activités connexes), où l'on ne connaît pas la production réelle. Ce secteur est censé agir à titre d'agent ou de mandataire pour sa clientèle. La valeur des innovations informatiques entraînant un abaissement des prix dans ce secteur est ensuite déduite de la disposition de l'entreprise — ainsi que de celle de sa clientèle en aval — à payer. Bresnahan estime que, entre 1958 et 1972, les retombées résultant de l'adoption d'ordinateurs centraux dans le secteur des services financiers aux États-Unis ont représenté au moins cinq fois les dépenses engagées à ce titre en 1972.

Nadiri et Schankerman (1981) décomposent la croissance de la PTF à l'aide d'un modèle structurel dans lequel tous les intrants se situent à l'optimum produisant des coûts minimaux, la R-D rapporte le taux de rendement (privé) normal, le prix est égal au coût moyen et permet l'équilibre des marchés, et la

technologie se caractérise par un changement technique non incorporé aux facteurs de production et des économies d'échelle. Chaque élément de la croissance de la PTF reflète aussi bien son influence directe que les effets indirects exercés par le biais des changements induits de la production. Le ralentissement de la R-D représente, selon le calcul, près du quart de la décélération de la PTF après 1973 dans l'ensemble du secteur manufacturier aux États-Unis.

Link (1978) représente la R-D sous la forme d'investissements accroissant les facteurs qui ont une certaine probabilité de réussite. L'entreprise maximise le taux d'augmentation anticipé de son chiffre d'affaires net, diminué des dépenses de R-D nécessaires à l'obtention de cette augmentation. Moyennant certaines hypothèses relatives aux chances de succès, Link calcule pour 45 entreprises américaines, entre 1958 et 1963, un degré optimal d'accroissement des facteurs qui, lorsqu'on le compare au taux moyen de croissance des investissements en R-D sur l'ensemble de cette période, produit un taux de rendement de 18,8 pour cent pour la R-D.

Levin et Reiss (1988) estiment un modèle dans lequel l'ensemble des connaissances d'une industrie se compose de la R-D propre, plus une partie de l'ensemble de la R-D dans tous les autres secteurs. Ils estiment dans leur modèle de l'ampleur des opportunités de R-D et des possibilités de s'en approprier les résultats, tout en tenant compte du caractère endogène de la structure du marché. La productivité de la R-D est estimée séparément de l'ampleur des retombées. Ces dernières dépendent de l'importance des possibilités d'appropriation de façon générale et de l'efficacité relative des moyens d'appropriation par le dépôt de brevet ou sous d'autres formes. La R-D exclusive et sans exclusivité sont des substituts imparfaits. Les auteurs procèdent à l'estimation du modèle sur un échantillon transversal de 116 gammes d'activités aux États-Unis. Les seuls résultats significatifs qu'ils obtiennent portent sur les variables d'opportunité qui influent sur les taux de rendement de la R-D. L'ampleur et la productivité des retombées ne sont pas significatives, que ce soit dans les équations de R-D portant sur les procédés ou sur les produits.

II Retombées de la R-D étrangère dans l'ensemble du secteur manufacturier au Canada

Contexte

Les retombées dans le domaine des connaissances ont été mises en lumière dans les nouvelles théories de la croissance économique (Romer, 1986) et du commerce international (Grossman et Helpman, 1990), tout en faisant l'objet d'une certaine attention dans les analyses de la productivité depuis plus d'une vingtaine d'années (voir Griliches, 1991). Les travaux empiriques consacrés aux retombées de la R-D se bornent généralement à examiner les retombées interentreprises au sein d'une industrie et les retombées interindustrielles dans le cadre d'un pays. Cette étude-ci est axée sur la dimension internationale des retombées. Elle examine la mesure dans laquelle l'industrie manufacturière canadienne a bénéficié des travaux de R-D exécutés à l'étranger entre 1964 et 1983.

Bien que la transmission des connaissances d'un pays à l'autre soit un phénomène largement admis dans les études théoriques, les données empiriques sont rares et peu convaincantes. Fecher (1989) a fait la somme de la R-D sectorielle exécutée dans tous les pays de l'OCDE en proportion des achats d'intrants intermédiaires effectués par la Belgique auprès de ces secteurs à l'étranger pour établir un stock de R-D étrangère. L'estimation d'une fonction de production de Cobb-Douglas élargie à partir des données recueillies pour des entreprises belges n'a pas produit de résultats concluants en ce qui concerne les effets positifs de la R-D faite à l'étranger. Hartwick et Ewen (1983) ont calculé la R-D incorporée dans les achats de produits intermédiaires de 29 secteurs canadiens, avec répartition entre les biens d'origine intérieure et de provenance étrangère, comme la différence entre les besoins de R-D directe et totale. Leur analyse de corrélation n'a pas révélé l'existence d'un lien entre la R-D indirecte (intérieure ou étrangère) et la croissance de la pro-

ductivité. Globerman (1972) a toutefois accordé un certain rôle à la R-D étrangère au Canada : la seule élasticité significative de la production vis-à-vis de la R-D qu'il ait pu obtenir a été attribuée à la R-D importée non comptabilisée.

Dans les quatre sections qui suivent, nous expliquons d'abord la façon dont l'ensemble de la R-D étrangère a été calculée, puis le cadre et les résultats de la fonction de Cobb-Douglas élargie; nous estimons ensuite le modèle économétrique fondé sur la théorie de la dualité, avant de présenter les résultats de ce modèle. Deux annexes donnent plus de détails sur les données.

Mesure des retombées internationales de la R-D

Dans les études consacrées aux retombées intersectorielles, différentes matrices ont servi à mesurer un ensemble de R-D disponible[9]. De même, dans le domaine des retombées internationales de la R-D (puisque cette dernière se transmet d'un pays à l'autre par le biais des investissements directs étrangers, de la vente de brevets et de marques de commerce, du commerce international ou des mouvements de personnel scientifique), toutes ces variables pourraient servir à agréger la R-D étrangère. Plus le Canada achète de produits de pointe, acquiert de brevets, reçoit d'investissements étrangers ou communique avec des chercheurs du secteur i dans le pays j, plus elle bénéficie de la R-D effectuée dans ce secteur à l'étranger.

Dans cette étude, j'ai utilisé les importations de produits de pointe moins comme des vecteurs de la R-D étrangère que comme une mesure de proximité dans l'espace technologique international[10]. Le stock de R-D disponible à l'étranger (S) est donc établi comme suit :

$$S = \sum_i \sum_j \frac{M_{ij}}{\sum_i \sum_j M_{ij}} R_{ij}$$

où M_{ij} représente les importations canadiennes de produits de pointe (à l'exclusion des importations alimentant la demande finale) provenant du secteur i dans le pays j et R_{ij}, les stocks respectifs de R-D.

Les émetteurs de retombées sont limités aux cinq pays dans lesquels la majeure partie de la R-D est exécutée dans la zone de l'OCDE : les États-Unis, l'Allemagne de l'Ouest, le Japon, la France et le Royaume-Uni. En 1980, ces cinq pays pris dans leur ensemble représentaient plus de 90 pour cent du coût total de la R-D dans le secteur des entreprises commerciales des pays de l'OCDE[11]. Les importations auxquelles la R-D étrangère était incorporée se limitent aux produits de pointe[12]. Étant donné qu'on ne s'entend pas sur la

définition précise de ces produits, je les ai répertoriés à partir des listes adoptées par l'OCDE, le Département du commerce des États-Unis et Statistique Canada (voir l'annexe A)[13]. La liste que j'ai établie est fondée sur la Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité (CITI1 et CITI2) désagrégée jusqu'au niveau de trois chiffres. Les produits provenaient essentiellement de cinq industries : produits électriques (CITI 383), matériel de transport (CITI 384), produits chimiques (CITI 351 et 352), instruments scientifiques (CITI 385) et machines autres qu'électriques (CITI 382)[14]. En 1980, ces cinq secteurs représentaient 70 pour cent de toute la R-D effectuée dans l'ensemble des industries manufacturières tant au Japon qu'aux États-Unis, 89 pour cent en Allemagne de l'Ouest, 85 pour cent au Royaume-Uni et 80 pour cent en France.

Le tableau 4 indique l'importance relative des 25 sources de retombées internationales de la R-D. D'après cette mesure, 98 pour cent de la R-D étrangère transmise au Canada provient des États-Unis. Parmi les autres sources, aucune ne représente plus de 1 pour cent de la R-D accessible aux entreprises manufacturières canadiennes. Cela est dû au fait que 88 pour cent des importations canadiennes de produits de pointe provenant de ces 25 sources émanent des États-Unis et que les industries américaines du matériel de transport et des machines autres qu'électriques constituent à elles

Tableau 4

Composantes de la somme pondérée des dépenses étrangères de R-D en 1980

$M_{ij} R_{ij} / (\Sigma_i \Sigma_j M_{ij} R_{ij})$

	NE	EP	TE	CP	SI
États-Unis	0,313	0,090	0,528	0,039	0,008
Japon	0,001	0,004	0,005	-	-
France	-	-	-	-	-
Allemagne de l'Ouest	0,003	-	0,002	0,001	-
Royaume-Uni	0,001	-	0,001	0,001	-

NE = machines autres qu'électriques
EP = produits électriques
TE = matériel de transport
CP = produits chimiques
SI = instruments scientifiques

Les chiffres one été arrondis à la valeur supérieure, de sorte que leur somme n'est pas obligatoirement égale à 100 pour cent. Les chiffres inférieurs à 0,001 ont été omis.

seules plus de 70 pour cent de cette proportion. Pour ce qui est des stocks de R-D , plus de 60 pour cent du total se trouve aux États-Unis, où l'on observe une forte concentration (23 pour cent) dans l'industrie du matériel de transport.

En raison de cette prépondérance des États-Unis dans la mesure des retombées décrites précédemment, j'ai également essayé une autre mesure de S, fondée uniquement sur la R-D exécutée aux États-Unis. Cette mesure diffère de la précédente à deux égards : aucune pondération n'est effectuée (chaque industrie américaine se voyant donner la même importance) et la R-D, au lieu d'être limitée au secteur industriel, est envisagée pour l'ensemble de l'économie.

Fonction de Cobb-Douglas élargie

Le secteur manufacturier canadien est censé réaliser une production (Q) à l'aide de cinq intrants ou facteurs : le travail (L), les intrants intermédiaires (M), le stock de capital physique (K) (que nous appellerons ci-après le «capital»), le stock propre de R-D (R) (ci-après la «R-D») et le stock de R-D étrangère (S). La frontière technologique se déplace vers l'extérieur sous l'effet du changement technique non incorporé aux facteurs de production.

Exprimée en taux de croissance, la fonction de production de Cobb-Douglas élargie produit l'équation d'estimation suivante :

$$\dot{Q}_t = \alpha_T + \alpha_L \dot{L}_t + \alpha_K \dot{K}_t + a_M \dot{M}_t + \alpha_R \dot{R}_t + \alpha_S \dot{S}_t + \alpha_U \dot{U}_t + \varepsilon_{1t} \quad (1)$$

où les points dénotent les taux de croissance (différences premières des logarithmes), U représente le taux d'utilisation des capacités, ε_1 est un terme d'erreur aléatoire, α_T le rythme de changement technique non incorporé aux facteurs de production et les coefficients α_i (i = L, K, M, R, S, U) l'élasticité de la production.

Au lieu d'employer l'équation (1), nous pouvons estimer les taux de rendement ou les productivités marginales de R et de S directement, plutôt que leurs

élasticités production, en tirant parti du fait que α_R R peut être réexprimé sous la forme $(\partial Q_t / \partial R_t)(R_t / Q_t)(R_t - R_{t-1}) / R_t$, de même que S, ce qui donne

$$\dot{Q}_t = \alpha_T + \alpha_L \dot{L}_t + \alpha_K \dot{K}_t + \alpha_M \dot{M}_t + \gamma_R (R_t - R_{t-1}) / Q_t$$

$$+ \gamma_S (S_t - S_{t-1}) / Q_t + \alpha_U \dot{U}_t + \varepsilon_{2t} \quad (2)$$

où γ_R et γ_S représentent les taux de rendement bruts.

Dans une autre estimation encore, on suppose que les rendements sont constants à l'échelle pour L, M et K, que les prix sont établis en fonction de coût marginal et que L, M et K se situent au niveau optimal. Les élasticités de la production correspondantes (a), peuvent alors être remplacées par les parts de coût $s_i = p_i x_i / (\Sigma_i p_i x_i)$, où i = L, M, K et p et x représentent le prix (coût pour l'utilisateur) et la quantité respectifs des intrants. L'équation (2) peut alors être mise sous la forme

$$\dot{PTF}_t = \alpha_T + \alpha_R \dot{R}_t + \alpha_S \dot{S}_t + \alpha_U \dot{U}_t + \varepsilon_{3t} \qquad (3)$$

ou encore

$$\dot{PTF}_t = \alpha_T + \gamma_R (R_t - R_{t-1})/Q_t + \gamma_S (S_t - S_{t-1})/Q_t + \alpha_U \dot{U}_t + \varepsilon_{4t} \quad (4)$$

où $\dot{PTF}_t = \dot{Q}_t - \Sigma_i s_{it} \dot{x}_{it}$ (i = L, M, K) est l'indice de Divisia de la croissance de la productivité totale des facteurs, mesuré par son approximation de Törnqvist (temps discontinu).

On constate d'abord au tableau 5 que les estimations faites à l'aide des taux de rendement que des élasticités produisent des résultats analogues. Le taux de changement technique non incorporé aux facteurs de production oscille autour d'un demi pour cent par année. Le taux de rendement propre de la R-D n'est pas significatif, de sorte qu'il fluctue considérablement d'une estimation à l'autre[15]. Une fois converties en productivités marginales (en les multipliant par 1,928, la moyenne de Q sur la moyenne de S), les élasticités production de la R-D étrangère concordent avec les estimations de taux de rendement. Ces coefficients sont significatifs, au moins à un niveau de confiance de 90 pour cent, et varient entre 23 et 43 pour cent. Les régressions de la PTF produisent des élasticités plus élevées que les régressions de la croissance de la production — un autre résultat fréquemment produit par ce type d'étude. La prise en compte d'un effet croisé entre la R-D propre et la R-D étrangère n'a pas produit de coefficient significatif.

L'ajustement des chiffres de croissance de la PTF, qui varient selon la phase du cycle économique, au moyen de variables explicatives représentant essentiellement la tendance à long terme est gênant. C'est pourquoi l'on introduit, à titre de variable explicative supplémentaire censée rendre compte des variations cycliques de la productivité, la variation des taux d'utilisation des capacités. En conséquence, les coefficients de S ont tendance à diminuer de valeur mais à devenir plus significatifs. Les coefficients U sont fortement significatifs et améliorent considérablement le R^2 ajusté. Il ne s'agit peut-être que du résultat d'une corrélation trompeuse, puisque U représente essentiellement la croissance de la production (U étant l'écart de la production par

rapport à une année de référence fixée). Il se pourrait toutefois que U reflète également les effets de l'utilisation de la capacité globale (et non uniquement du capital), un effet d'échelle, un effet d'apprentissage par la pratique ou les changements de marge prix-coût induits par l'augmentation de la production.

Le fait que les coefficients S soient significatifs alors que la R-D propre affiche de très mauvais résultats amène à se demander si la variable retombées de la R-D étrangère ne contient pas un élément cyclique, par le jeu du mécanisme de pondération des importations. Nous avons donc fait la régression des coefficients de pondération des importations sur la production canadienne et une tendance. Cette dernière était significative dans sept des 2[illegible] cas[16], tandis que la composante cyclique ne l'était que dans trois cas. L'un de ces cas correspondait toutefois aux importations de matériel de transport de pointe provenant des États-Unis, la plus forte composante des retombées, ainsi que l'indique le tableau 4. Afin d'étudier plus à fond le biais susceptible d'être contenu dans le taux de rendement de la R-D, nous avons procédé à nouveau aux régressions en considérant le stock total de R-D aux États-Unis comme l'unique source de retombées. Là encore, la R-D propre n'était pas significative. En outre, elle était toujours affectée du mauvais signe. La R-D étrangère cessait également d'être significative au niveau de 5 pour cent, et son ordre de grandeur tombait à une fourchette de 4 à 12 pour cent. Par ailleurs, les résultats étaient analogues sur le plan qualitatif à ceux du tableau 4; c'est pourquoi ils ne seront pas reproduits ici.

Modèle économétrique fondé sur la dualité

Je donnerai maintenant plusieurs prolongements à la méthode exposée précédemment. En premier lieu, je représenterai explicitement les effets de déséquilibre à court terme (conformément aux résultats, peut-être polémiques, qui découlent de l'introduction de l'utilisation des capacités) en établissant une distinction entre les facteurs de production variables et quasi fixes. En deuxième lieu, je me servirai d'une forme fonctionnelle plus flexible pour étudier les interactions entre la R-D propre et la R-D étrangère, en particulier. En troisième lieu, j'essaierai d'obtenir des estimations plus efficientes de la technologie en exploitant l'information contenue dans les équations de demande des facteurs (au prix d'erreurs éventuelles dans la spécification du comportement des producteurs). Je m'efforcerai, en dernier lieu, de faire apparaître une explication dynamique de la demande de facteurs.

Les facteurs de production L et M ont été traités comme des intrants variables, c'est-à-dire ajustables sur-le-champ à leur niveau optimal. K et R sont représentés comme des intrants quasi fixes donnant lieu à des coûts d'ajustement, par exemple les frais de réorganisation du plan de production, le rodage des machines neuves ou les dépenses entraînées par l'abandon d'une ancienne

Tableau 5

Estimations de diverses versions d'une fonction Cobb-Douglas élargie simple, industrie manufacturière canadienne, 1965 - 1983

	Équations							
Paramètres*	(1)		(2)		(3)		(4)	
α_T	0,004	0,006	0,004	0,006	0,004	0,003	0,006	0,003
	(0,722)	(1,565)	(0,784)	(1,677)	(0,501)	(0,981)	(0,787)	(1,039)
α_L	0,126	0,095	0,130	0,096				
	(1,527)	(1,559)	(1,529)	(1,538)				
α_K	-0,187	0,224	-0,184	0,231				
	(-1,502)	(1,525)	(-1,551)	(1,602)				
α_M	0,948	0,541	0,948	0,540				
	(14,803)	(4,382)	(14,693)	(4,386)				
α_U		0,415		0,417		0,212		0,212
		(3,555)		(3,584)		(9,485)		(9,454)
α_R	0,012	0,003			-0,115	-0,027		
	(0,120)	(0,049)			(-0,654)	(-0,395)		
α_S	0,133	0,119			0,223	0,172		
	(1,457)	(1,785)			(1,313)	(2,590)		
γ_R			0,036	-0,257			-3,449	-0,509
			(0,018)	(-0,179)			(-0,965)	(-0,355)
γ_S			0,262	0,238			0,431	0,324
			(1,539)	(1,927)			(1,420)	(2,714)
D.W.	2,387	2,292	2,433	2,365	2,331	2,134	2,372	2,198
$\bar{R}^2$	0,984	0,991	0,984	0,991	-0,015	0,845	0,007	0,848

* Statistiques t entre parenthèses.

technique ou par la mise en place d'une nouvelle gamme de production. Étant donné ces coûts d'ajustement, l'entreprise est incitée à ne s'adapter que graduellement aux nouveaux niveaux d'intrants quasi fixes. Quant au stock de R-D étrangère accumulée, nous supposons que le secteur manufacturier canadien est confronté à un stock d'un niveau donné, déterminé de manière exogène,

sur lequel il n'a aucune emprise. S est donc considéré comme un intrant entièrement fixe.

Les intrants sont choisis de manière à réduire au minimum, sur un horizon infini, la valeur actuelle de tous les coûts après impôt anticipés d'exploitation, d'investissement et d'ajustement, sous réserve d'une série de niveaux de production attendus. Étant donné que les intrants variables peuvent être ajustés sans peine au niveau optimal, quel qu'il soit, l'optimisation intertemporelle peut être divisée en deux étapes. On choisit d'abord les intrants variables en minimisant les coûts variables après impôt pour un niveau de production donné, les niveaux hérités et les investissements prévus dans les deux intrants quasi fixes, un niveau donné de compétences technologiques et les prix fixes des intrants variables[7]. La solution optimale de ce problème permet de représenter la technologie à l'aide d'une fonction de coûts variables après impôt :

$$VC_t = VC\,(p_{Lt}, p_{Mt}, Q_t, K_{t-1}, R_{t-1}, S_{t-1}, I_{Kt}, I_{Rt}) \qquad (5)$$

où $VC_t = p_{Lt} L_t + p_{Mt} M_t$,

p_{Lt} = prix après impôt du travail
p_{Mt} = prix après impôt des matières
I_{Kt} = investissement brut en capital
I_{Rt} = investissement brut en R-D.

Les marchés des intrants sont supposés être concurrentiels. Les stocks de capital, de R-D propre et de retombées de la R-D étrangère (exprimés par les stocks en fin de période) sont censés être incorporés à la technologie au cours de la période t à leur niveau en début de période.

Dans un second temps, on obtient les niveaux optimaux d'intrants quasi fixes en posant le problème d'optimisation suivant :

$$\min_{\{K_\tau, R_\tau\}} E(t) \sum_{\tau=t}^{\infty} R_{t,\tau} \{ VC\,(p_{L\tau}, p_{M\tau}, Q_\tau, K_{\tau-1}, R_{\tau-1}, S_{\tau-1}, I_{K\tau}, I_{R\tau}) + \sum_{x=K,R} p_{x\tau} I_{x\tau} \} \qquad (6)$$

où

$$I_{x\tau} = x_\tau - (1-\delta_x)\, x_{\tau-1}, \text{ for } x = K, R$$

E(t) = attente subordonnée à toute l'information disponible au moment t, c'est-à-dire que les attentes sont rationnelles.
$R_{t,\tau}$ = taux d'actualisation après impôt nominal entre t et τ où

$$R_{t,t} = 1 \text{ and } R_{t,\tau} = \prod_{i=t}^{\tau-1} (1 / (1 + r_i)) \text{ for } \tau > t$$

r_t = taux de rendement après impôt nominal entre t et t+1[18]
p_{xt} = prix d'achat effectif après impôt de x; x = K,R
δ_x = taux de dépréciation géométrique de l'article de capital x.

Les sentiers d'ajustement optimal des intrants quasi fixes sont décrits par les équations d'Euler tirées de (6) :

$$E(t)\{(1+r_\tau)[p_{x,\tau} + \partial VC_\tau / \partial I_{x,\tau}] - (1-\delta_x)[p_{x,\tau+1} + \partial VC_{\tau+1} / \partial I_{x,\tau+1}] + \partial VC_{\tau+1} / \partial x_\tau\} = 0$$
$$x = K, R$$
$$\tau = t, \ldots, \infty \qquad (7)$$

Tout dépendant de l'information disponible au moment t, chaque ajout marginal à un intrant quasi fixe doit coûter autant qu'il rapporte en dollars anticipés actualisés. Autrement dit, son coût anticipé — sous forme de prix d'achat et de coûts d'ajustement marginaux au cours d'une période — doit être égal, en termes capitalisés, à ce qu'il en coûterait une période plus tard (sous forme de prix d'achat et de coûts d'ajustement marginaux) pour acheter la partie non dépréciée de l'investissement marginal, plus la réduction de coût variable qu'on s'attend à tirer de l'investissement.

La fonction de coût variable après impôt est donnée par une version tronquée de la forme fonctionnelle généralisée symétrique de McFadden introduite par Diewert et Wales (1987) :[19]

$$\begin{aligned} VC_t &= Q_t^{\rho} [(0.5\,\alpha_{LL}\,p_{Lt}^2 + \alpha_{LM}\,p_{Lt}\,p_{Mt} + 0.5\,\alpha_{MM}\,p_{Mt}^2)/\tilde{p}_t \\ &\quad + \alpha_L\,p_{Lt} + \alpha_M\,p_{Mt}] \\ &\quad + \beta_{LK}\,p_{Lt}\,K_{t-1} + \beta_{MK}\,p_{Mt}\,K_{t-1} + \beta_{LR}\,p_{Lt}\,R_{t-1} + \beta_{MR}\,p_{Mt}\,R_{t-1} \\ &\quad + \beta_{LS}\,p_{Lt}\,S_{t-1} + \beta_{MS}\,p_{Mt}\,S_{t-1} \\ &\quad + \tilde{p}_t\,Q_t^{-\rho}[0.5\,\beta_{KK}\,K_{t-1}^2 + \beta_{KR}\,K_{t-1}\,R_{t-1} + 0.5\,\beta_{RR}\,R_{t-1}^2 \\ &\quad + \beta_{KS}\,K_{t-1}\,S_{t-1} + \beta_{RS}\,R_{t-1}\,S_{t-1} + 0.5\,\alpha_{KK}\,I_{Kt}^2 + 0.5\,\alpha_{RR}\,I_{Rt}^2] \end{aligned} \qquad (8)$$

où $\tilde{p}_t = \sum_i (p_{i0}\,x_{i0} / \sum_i p_{i0}\,x_{i0})\,p_{it}$, i = (L, M), est un indice de Laspeyres des prix des intrants variables.

La formulation précédente généralise celle qu'ont présentée Diewert et Wales (1987) en permettant d'introduire les intrants quasi fixes[20]. La variable $\tilde{p}_t$ figure dans la fonction de coût variable afin d'imposer l'homogénéité linéaire des prix des facteurs de façon symétrique. La version symétrique de la forme généralisée de McFadden n'implique pas de choix arbitraire d'un numéraire dans la construction des prix relatifs des facteurs variables, qui rendraient les équations de demande de facteurs asymétriques et risqueraient d'influer sur les résultats (voir Mahmud, Robb et Scarth, 1986). Pour des raisons d'identification, j'ai imposé la restriction paramétrique $\alpha_{LL} = \alpha_{MM} = -\alpha_{LM}$[21]. En raison de la multicolinéarité, j'ai imposé une contrainte d'homogénéité à la technologie, comme dans Nadiri et Prucha (1989)[22]. Cette forme fonctionnelle permet d'imposer les restrictions de courbure globale à la fonction de coûts variables à l'aide d'une factorisation de Cholesky sans limiter la flexibilité de la forme fonctionnelle[23]. La concavité de VC(.) en (p_L, p_M) est imposée par le remplacement de α_{LL} par $-a_{11}^2$. Sa convexité en (K_{t-1}, R_{t-1}) est imposée par une nouvelle paramétrisation de la matrice des $[\beta_{ij}]$ par BB', où $B = [b_{ij}]$ est une matrice triangulaire inférieure de 2 x 2, où i,j = K, R[24]. Toutes les conditions de régularité à respecter pour que VC(.) soit une représentation duale valable de la technologie sont donc imposées aux données par la paramétrisation.

Les coûts d'ajustement sont présentés comme internes, mais séparables les uns des autres — c'est-à-dire que les coûts d'ajustement du capital n'influent pas sur ceux de la R-D, et inversement. Pour que les équations d'Euler soient des conditions nécessaires et suffisantes d'optimalité intertemporelle, il faut que la fonction de coût variable soit croissante et convexe en I_K et en I_R. On peut de nouveau imposer cette dernière condition au moyen d'une factorisation de Cholesky, la matrice des $[\alpha_{ij}]$ étant reparamétrisée par CC', où $C = [c_{ij}]$ est une matrice triangulaire inférieure de 2 x 2, avec i, j = K, R.

On peut maintenant obtenir sans peine le système d'estimation des équations. D'après le lemme de Shephard, les équations de demande des

$$
\begin{aligned}
L_t / Q_t \; = \; & Q_t^{\rho-1} \, [\, \alpha_L + (\alpha_{LL}\, p_{Lt} + \alpha_{LM}\, p_{Mt}) / \tilde{p}_t \\
& - s_{L0} \, (\, 0.5\, \alpha_{LL}\, p_{Lt}^2 + \alpha_{LM}\, p_{Lt}\, p_{Mt} + 0.5\, \alpha_{MM}\, p_{Mt}^2) / \tilde{p}_t^2 \,] \\
& + Q_t^{-1} \, (\beta_{LK}\, K_{t-1} + \beta_{LR}\, R_{t-1} + \beta_{LS}\, S_{t-1}) \\
& + s_{L0} \, [\, Q_t^{\rho-1} \, (\, 0.5\, \beta_{KK}\, K_{t-1}^2 + \beta_{KR}\, K_{t-1}\, R_{t-1} \\
& + 0.5\, \beta_{RR}\, R_{t-1}^2 + \beta_{KS}\, K_{t-1}\, S_{t-1} + \beta_{RS}\, R_{t-1}\, S_{t-1} \\
& + 0.5\, \alpha_{KK}\, I_{Kt}^2 + 0.5\, \alpha_{RR}\, I_{Rt}^2 \,) \,] + \varepsilon_{1t}
\end{aligned}
\qquad (9)
$$

$$M_t / Q_t = Q_t^{\rho-1} [\, \alpha_M + (\alpha_{MM} p_{MT} + \alpha_{LM} p_{Lt}) / \tilde{p}_t$$
$$- s_{M0} (0.5 \alpha_{LL} p_{Lt}^2 + \alpha_{LM} p_{Lt} p_{Mt} + 0.5 \alpha_{MM} p_{Mt}^2) / \bar{p}_t^2]$$
$$+ Q_t^{-1} (\beta_{MK} K_{t-1} + \beta_{MR} R_{t-1} + \beta_{MS} S_{t-1})$$
$$+ s_{M0} [\, Q_t^{-\rho-1} (0.5 \beta_{KK} K_{t-1}^2 + \beta_{KR} K_{t-1} R_{t-1}$$
$$+ 0.5 \beta_{RR} R_{t-1}^2 + \beta_{KS} K_{t-1} S_{t-1} + \beta_{RS} R_{t-1} S_{t-1}$$
$$+ 0.5 \alpha_{KK} I_{Kt}^2 + 0.5 \alpha_{RR} I_{Rt}^2)] + \varepsilon_{2t} \qquad (10)$$

deux facteurs variables sont données par :

où $s_{i0} = p_{i0} x_{i0} / (\Sigma_i p_{i0} x_{i0})$, i = L, M. Les équations (9) et (10) ont été) normalisées par Q afin d'éliminer une hétéroscédasticité possible des termes d'erreur. Les termes d'erreur stochastique présents dans les deux équations tiennent compte des erreurs éventuelles d'optimisation, que l'on suppose non corrélées à l'information disponible au moment t.

Les demandes optimales des deux intrants quasi fixes au cours de la période t sont données par les équations d'Euler. Avec des attentes rationnelles, les valeurs futures dans les équations d'Euler peuvent être remplacées par les valeurs effectives, la différence entre les deux tenant aux erreurs aléatoires non corrélées avec l'information disponible au moment t. Les deux autres équations à estimer sont donc :

$$(1+r_t) \{ p_{Kt} + \alpha_{KK} \tilde{p}_t Q_t^{-\rho} [\, K_t - (1 - \delta_K) K_{t-1}] \}$$
$$- (1 - \delta_K) \{ p_{K, t+1} + \alpha_{KK} \tilde{p}_{t+1} Q_{t+1}^{-\rho} [K_{t+1} - (1 - \delta_K) K_t] \}$$
$$+ \beta_{LK} p_{L, t+1} + \beta_{MK} p_{M, t+1} + \tilde{p}_{t+1} (\beta_{KK} K_t / Q_{t+1}^{\rho} + \beta_{KR} R_t / Q_{t+1}^{\rho}$$
$$+ \beta_{KS} S_t / Q_{t+1}^{\rho}) = \varepsilon_{3t} \qquad (11)$$

$$(1+r_t) \{ p_{Rt} + \alpha_{RR} \tilde{p}_t Q_t^{-\rho} [R_t - (1 - \delta_R) R_{t-1}] \}$$
$$- (1 - \delta_R) \{ p_{R, t+1} + \alpha_{RR} \tilde{p}_{t+1} Q_{t+1}^{-\rho} [R_{t+1} - (1 - \delta_R) R_t] \}$$
$$+ \beta_{LR} p_{L, t+1} + \beta_{MR} p_{M, t+1} + \tilde{p}_{t+1} (\beta_{RR} R_t / Q_{t+1}^{\rho} + \beta_{KR} K_t / Q_{t+1}^{\rho}$$
$$+ \beta_{RS} S_t / Q_{t+1}^{\rho}) = \varepsilon_{4t} \qquad (12)$$

Le modèle à estimer se compose des équations (9) à (12). La fonction de coût variable n'a pas à être estimée, puisqu'elle ne renferme aucune information supplémentaire. Nous supposons que la matrice de variance-covariance contemporaine Σ du vecteur d'erreur $\varepsilon_t = (\varepsilon_{1t}\, \varepsilon_{2t}\, \varepsilon_{3t}\, \varepsilon_{4t})'$ est définie et positive. Nous estimons les quatre équations en même temps au moyen de la méthode des moments généralisée (MMG). Cette méthode d'estimation de modèles dynamiques ne nécessite pas l'obtention de solutions explicites pour déterminer les sentiers d'ajustement. La méthode MMG repose sur l'idée que, étant donné les hypothèses de notre modèle, il ne doit exister aucune corrélation entre les termes d'erreur et n'importe quel élément faisant partie de l'ensemble d'informations contemporain. L'objectif est donc de minimiser la corrélation entre les termes d'erreur et un vecteur des variables instrumentales exogènes faisant partie de l'ensemble d'informations. Appelons θ le vecteur px1 des paramètres à estimer, z_t un vecteur kx1 des variables instrumentales, e_t le vecteur 4x1 des résidus estimés et n la taille de l'échantillon. L'estimateur MMG de θ est celui qui minimise la fonction objective $S(\theta,V)$, lorsque

$$S(\theta,V) = [nm_n(\theta)]' V^{-1} [nm_n(\theta)]$$

$$nm_n(\theta) = \sum_{t=1}^{n} e_t \otimes z_t \qquad (13)$$

et V est la matrice variance-covariance de nm (q), évaluée à la vraie valeur q.

Sur le plan pratique, étant donné que q est inconnu, il faut d'abord estimer les paramètres de façon cohérente. On calcule ensuite V à l'aide des coefficients de Parzen

$$\hat{V} = n\sum_{\tau=-\omega}^{\omega} w(\tau/\omega)\, \hat{S}_\tau$$

où

$$\hat{S}_\tau = (1/n)\sum_{t=1+\tau}^{n} [e_t(\tilde{\theta}) \otimes z_t][e_{t-\tau}(\tilde{\theta}) \otimes z_{t-\tau}]' \qquad \tau \geq 0$$

$$\hat{S}_\tau = (\hat{S}_{-\tau})' \qquad \tau < 0$$

$$w(\tau/\omega) = 1 - 6|\tau/\omega|^2 + 6|\tau/\omega|^3 \qquad 0 \leq \tau/\omega \leq 0.5$$

$$w(\tau/\omega) = 2(1 - |\tau/\omega|)^3 \qquad 0.5 \leq \tau/\omega \leq 1$$

$$\omega = \text{integer.} \qquad (14)$$

Gallant (1987) recommande de choisir ω aussi près que possible de $n^{1/5}$, qui serait dans ce cas égal à 2. Étant donné les conditions de régularité appro-

priées, il résulte de Pötscher et Prucha (1991a et 1991b) que l'estimateur est cohérent, a une distribution asymptotique normale et que la matrice des variance-covariance asymptotique peut être estimée de façon cohérente par

$$\hat{C} = [(\Sigma_{t=1}^{n} (\frac{\partial e_t}{\partial \theta'}) \otimes z_t)' \hat{V}^{-1} (\Sigma_{t=1}^{n} (\frac{\partial e_t}{\partial \theta'}) \otimes z_t)]^{-1} \quad (15)$$

Résultats de la méthode duale

L'estimation du modèle dual par la méthode MMG repose sur les variables instrumentales suivantes : un terme constant, le stock de capital et la production retardés de deux périodes, et les prix relatifs des facteurs variables retardés d'une période. L'estimation non linéaire est exécutée à l'aide du module OPTMUM de Gauss386 et des dérivés analytiques. Le critère de convergence est fixé à 0,0001. Pour faciliter la convergence, l'échelle de certaines variables est modifiée de manière que les gradients de tous les paramètres de chaque équation aient le même ordre de grandeur.

Étant donné la colinéarité des données et la brièveté des séries temporelles, l'estimation de l'ensemble des paramètres a produit, dans une large mesure, des résultats non significatifs. Dans ces conditions, les ordres de grandeur économiques tirés de mes estimations seraient imprécis et, donc, peu utiles. En outre, l'imposition de restrictions de courbure a souvent entraîné des problèmes numériques de convergence vers un minimum. Ma stratégie a donc consisté à essayer d'estimer le sous-ensemble le plus important de coefficients qui seraient significatifs. J'ai procédé à des essais avec divers sous-ensembles de coefficients jusqu'à ce que j'en trouve un suffisamment robuste qui comprenait au moins un paramètre relatif aux retombées de la R-D étrangère. Il se révèle souvent nécessaire d'éliminer un certain nombre de paramètres dans les études économétriques de la demande de facteurs inspirées par la théorie duale et des approximations de second ordre, que ce soit pour des raisons de convergence ou à cause du non-respect des conditions de courbure. Bien entendu, la forme fonctionnelle sur laquelle reposent les estimations cesse alors d'appartenir à la famille des formes flexibles. En veillant à ce qu'au moins un paramètre de retombées soit estimé, je favorise la thèse des retombées. Les données pourraient sans doute présenter d'autres explications, c'est-à-dire d'autres représentations parcimonieuses sous contrainte. Un deuxième problème auquel je me suis heurté tenait à la sensibilité des coefficients d'ajustement à la matrice de pondération, à la première étape du processus d'estimation. Lorsque j'estimais les paramètres au moyen de 2SLS, avec les restrictions paramétriques imposées entre équations, au moins un des coefficients d'ajustement tendait vers zéro. J'ai donc estimé $\hat{V}$ à partir de

valeurs initiales raisonnables, en m'assurant que chaque équation s'ajustait. À partir des estimations ainsi obtenues, j'ai recalculé la matrice de pondération $\hat{V}$ et m'en suis servi pour estimer à nouveau le modèle.

Il sut décidé que, les estimations finales présentant des coefficients d'ajustement non significatifs ou nuls seraient rejetées. Ma stratégie d'estimation a des allures quelque peu bayésiennes. Comme je crois à l'existence des coûts d'ajustement, j'ai accordé une certaine importance à ce facteur (sans l'imposer, toutefois), pour ensuite laisser le modèle offrir les meilleures possibilités d'explication aux retombées de la R-D étrangère, tout en veillant à ce que les équations s'ajustent bien et produisent des estimations de la technologie raisonnables par ailleurs[25]. Comme dans la section précédente, j'ai estimé le modèle à l'aide de deux mesures de la R-D étrangère : la somme pondérée des stocks de R-D sectorielle à l'étranger (modèle I) et le stock total de R-D aux États-Unis (modèle II).

Les estimations MMG sont présentées au tableau 6. les valeurs de la fonction objective sont de 9,361 et 8,137. Par conséquent, mon modèle satisfait au test de Sargan des restrictions de suridentification, de même qu'à un test du rapport des quasi-vraisemblances du modèle restreint par rapport au modèle non soumis aux restrictions comportant 16 paramètres. ($X^2_{7,.05} = 14{,}067$)[26]
Pour évaluer l'ajustement du modèle, j'ai calculé les carrés des corrélations entre les demandes de facteurs observées et simulées : les corrélations sont de 0,741 pour le travail, de 0,999 pour les intrants intermédiaires, de 0,978 pour le capital et de 0,989 pour la R-D dans le modèle I — avec des chiffres légèrement meilleurs pour le modèle II. Le modèle estimé suit donc assez bien l'évolution des demandes de facteurs observées[27].

Le tableau 7 présente certaines des caractéristiques technologiques du secteur manufacturier canadien, aux valeurs observées des variables en 1973[28]. Les chiffres déclarés sont assez voisins des valeurs moyennes. Les rendements à l'échelle sont obtenus à l'aide de la formule suivante, inspirés de Caves, Christensen et Swanson (1981) :

$$\eta_t = (1 - \partial \ln VC_t / \partial \ln K_{t-1} - \partial \ln VC_t / \partial \ln R_{t-1} - \partial \ln VC_t / \partial \ln S_{t-1} - \partial \ln VC_t / \partial \ln I_{Kt} - \partial \ln VC_t / \partial \ln I_{Rt}) / (\partial \ln VC_t / \partial \ln Q_t). \quad (16)$$

D'après cette mesure, les rendements à l'échelle sont exprimés comme l'élasticité de la croissance de la production par rapport à une croissance équiproportionnelle de tous les intrants, y compris la R-D propre et les retombées de la R-D[29]. Le modèle I produit des rendements constants à

l'échelle dans l'industrie manufacturière canadienne alors que le modèle II indique des rendements légèrement croissants à l'échelle, de l'ordre de grandeur constaté dans d'autres études faites au Canada (Robidoux et Lester, 1988, et Daly et Rao, 1986).

Les coûts d'ajustement marginaux par dollar de dépense effective consacrée aux divers postes de capital, $(\partial VC_t / \partial I_{xt}) / p_{xt}$ pour x = K,R, sont voisins de 0,61 pour le capital et vont de 0,30 à 0,60 pour la R-D. Ces sommes doivent être ajoutées à chaque dollar dépensé pour obtenir le coût par dollar d'investissement. Les prix fictifs, exprimés par $(\partial VC_t / \partial x_{t-1}) / p_{xt}$ pour x = K, R, peuvent être interprétés comme les taux de rendement après impôt bruts immédiats. Les estimations ponctuelles des taux de rendement sont légèrement plus élevées pour la R-D que pour le capital, mais statistiquement, les deux taux sont égaux à environ 12 pour cent. Ils sont supérieurs aux taux normaux parce qu'ils englobent les coûts d'ajustement. Sur l'ensemble de l'horizon de planification, cependant, les deux stocks produisent le taux de rendement normal lorsque l'on tient compte des coûts d'ajustement[16]. On peut le voir en réécrivant l'équation (7) sous la forme :

$$-\partial VC_{t+1} / \partial R_t = [r_t \tilde{p}_{Rt} + \delta_R \tilde{p}_{R,t+1} - (\tilde{p}_{R,t+1} - \tilde{p}_{Rt})] \qquad (17)$$

où $\tilde{p}_{Rt} = p_{Rt} + \partial VC_t / \partial I_{Rt}$. Si t = aujourd'hui, l'équation (17) exprime le fait que le prix fictif de la R-D demain, lorsque la R-D sera productive, doit être égal au coût d'option d'un dollar de R-D investi aujourd'hui, plus la dépréciation de ce coût évaluée au prix de demain moins l'augmentation de prix du coût entre aujourd'hui et demain. Il en va de même dans le cas du capital[17]. Mes résultats sont, là encore, compatibles avec les estimations présentées dans les travaux antérieurs. Bernstein et Nadiri (1991) font état de coûts d'ajustement marginaux allant de 25 à 87 pour cent dans le cas du capital et de 7 à 46 pour cent pour la R-D dans six industries manufacturières américaines au niveau de deux chiffres. À l'aide de données sur le secteur manufacturier au Québec, Carmichael, Mohnen et Vigeant (1990) obtiennent des coûts d'ajustement marginaux de 40 pour cent dans le cas du capital physique.

Si l'industrie manufacturière canadienne devait payer la R-D étrangère le même prix que sa propre R-D (ce qui n'est pas le cas dans notre modèle, où la R-D étrangère est traitée comme un bien public), la R-D étrangère produirait au mieux une diminution de coût marginal après impôt égale à 1 pour cent[18]. La R-D étrangère exogène est complémentaire de la R-D propre. Les résultats nous portent donc à croire que le Canada ne peut se contenter de bénéficier gratuitement du stock de connaissances accumulé à l'étranger (et plus particulièrement aux États-Unis). Les Canadiens doivent faire de la recherche afin de savoir ce qui se passe dans les disciplines scientifiques et tech-

nologiques et pouvoir assimiler les connaissances disponibles. Au moyen du théorème de la fonction implicite appliqué à l'équation d'Euler de la R-D, on trouve que l'élasticité de la R-D propre vis-à-vis de la R-D étrangère est de 0,03[33]. Le caractère complémentaire de la R-D interne et de la R-D extérieure, de façon générale, a été illustré de façon convaincante par Levin (1988) et par Foray et Mowery (1990)[34]. Cette complémentarité confirme également la constatation, par Mohnen et Lépine (1991), d'une relation complémentaire entre la R-D et les dépenses consacrées à l'acquisition de technologies étrangères dans l'industrie canadienne.

Enfin, ces résultats se sont révélés relativement robustes, peu importe qu'on spécifie les coûts d'ajustement en termes d'investissements bruts ou nets, qu'on utilise les prix du capital et de la R-D retardés d'une période plutôt que de la production et du capital retardés de deux périodes à titre de variables instrumentales, ou qu'on pose $\omega = 1$ ou 3 plutôt que 2 dans le calcul des coefficients de pondération de Parzen.

Pour en revenir à la question centrale abordée dans ce document, à savoir la contribution de la R-D — et en particulier de la R-D étrangère — à la croissance de la productivité, je présenterai maintenant une décomposition de l'indice de Divisia habituel de la croissance de la PTF :

$$\dot{PTF} = \frac{d\ln Q}{dt} - \sum_i \tilde{s}_i \frac{d\ln x_i}{dt} - \tilde{s}_K \frac{d\ln K}{dt} \qquad (18)$$

où $\tilde{s}_i$ et $\tilde{s}_K$ représentent les parts de coût total, ce dernier étant défini comme la somme des coûts du travail, du capital et des intrants intermédiaires, i = L, M, et x représente les intrants variables.

Une différenciation totale de la fonction de coût variable et l'application du lemme de Shephard me permettent d'écrire :

$$0 = \sum_i s_i \dot{x}_i - \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln K}\dot{K} - \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln R}\dot{R} - \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln Q}\dot{Q} - \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln S}\dot{S} - \sum_j \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln I_j}\dot{I}_j \qquad (19)$$

où s_i représente les parts de coût variable, j = K, R, et I représente l'investissement brut.

En multipliant au préalable (19) par $A = \eta^{-1} / (\partial \ln VC / \partial \ln Q)$ et en ajoutant l'expression résultante à (18), on obtient l'équation suivante :

$$PTF = (1-\eta^{-1})\,\hat{Q} - \sum_i (\tilde{s}_i - A\,s_i)\,\hat{x}_i - (\tilde{s}_K + A\,\frac{\partial \ln VC}{\partial \ln K})\,\hat{K}$$

$$- A\,(\frac{\partial \ln VC}{\partial \ln R}\,\hat{R} + \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln S}\,\hat{S} + \sum_j \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln l_j}\,\hat{l}_j). \qquad (20)$$

Le premier terme de l'équation (20) tombe lorsque les rendements à l'échelle sont constants — il représente donc l'effet d'échelle produit sur la croissance de la PTF. Les deuxième et troisième termes peuvent être reformulés comme suit :

$$\tilde{s}_i - A\,s_i = s_i\,[\,\frac{VC}{VC + p_K K} - \frac{VC}{VC + \sum_k p_k z_k}\,]$$

$$+ s_i\,[(1 + \textstyle\sum_k p_k z_k / VC)^{-1} - (1 - \sum_k \partial \ln VC / \partial \ln z_k)^{-1}\,]$$

$$\tilde{s}_K + A\,\partial \ln VC / \partial \ln K = [\,\frac{p_K K}{VC + p_K K} - \frac{p_K K}{VC + \sum_k p_k z_k}\,]$$

$$+ [(p_K K / VC)(1 + \textstyle\sum_k p_k z_k / VC)^{-1} + (\partial \ln VC / \partial \ln K)(1 - \sum_k \partial \ln VC / \partial \ln z_k)^{-1}\,]$$

où k = K, R, S, I, l, et z et p sont les quantités et les prix correspondants, respectivement. On peut leur donner l'interprétation suivante : les termes compris dans les premières parenthèses tombent lorsqu'on mesure le coût total de manière appropriée, c'est-à-dire en tenant compte de tous les intrants, y compris la R-D étrangère et les investissements bruts (en supposant que nous puissions mesurer tous les prix). Il s'agit de l'effet des intrants manquants, qui est toujours positif. Les termes compris dans les deuxièmes parenthèses tombent lorsque les intrants fixes et quasi fixes sont optimaux, c'est-à-dire lorsque toutes les conditions de l'enveloppe sont vérifiées. Les termes qui restent à la deuxième ligne de l'équation (20) mesurent respectivement les effets de la croissance de la R-D propre, de la R-D étrangère et des coûts d'ajustement.

Au tableau 8, la décomposition de la croissance de la PTF fournit les renseignements suivants[11]. Cette croissance était relativement faible au Canada de 1965 à 1982 : la PTF a augmenté en moyenne d'un demi pour cent par an. Les variables explicatives de mon modèle ne contribuent guère, cependant, à expliquer ce faible chiffre. La principale raison en est l'absence d'une dimension cyclique de la productivité dans mes estimations. D'abord, le modèle I ne tient pas compte de l'effet de la production par le biais de l'échelle, et cet effet est peu marqué dans le modèle II. Ensuite, l'ampleur des coûts d'ajustement

Tableau 6

Estimations MMG, industrie manufacturière canadienne, 1964 - 1982

	Modèle I*		Modèle II*	
Paramètres	Estimations	Asymptotiques Statistiques t	Estimations	Asymptotiques Statistiques t
α_L	0,300	7,513	0,328	5,491
α_M	0,653	28,866	0,700	31,987
α_{11}	0,143	1,295	0,298	5,112
ρ	0,997	45,155	0,954	40,910
β_{LK}	-0,219	-2,897	-0,267	-2,877
β_{LR}	-	-	-	-
β_{MK}	-	-	-	-
β_{MR}	-	-	-	-
β_{KS}	-	-	-	-
β_{RS}	-0,190	-3,875	-0,019	-3,631
β_{LS}	-	-	-	-
β_{MS}	-	-	-	-
β_{KK}	0,506	3,350	0,581	4,232
β_{KR}	-	-	-	-
β_{RR}	-	-	-	-
c_{KK}	1,818	2,032	1,768	2,343
c_{RR}	6,311	2,230	8,239	3,870
			Modèle I	**Modèle II**
Valeur de la fonction objective :			9,361	8,137
	Durbin-Watson	Ajustement**	Durbin-Watson	Ajustement**
Équation (9) :	0,064	0,741	0,067	0,827
Équation (10) :	1,050	0,999	0,813	0,998
Équation (11) :	0,758	0,978	0,719	0,980
Équation (12) :	1,622	0,989	1,090	0,996

* Modèle I : S = somme pondérée des stocks sectoriels de R-D étrangère.
Modèle II : S = stock total de R-D aux États-Unis

** Ajustement = carré de la corrélation entre les valeurs réelles et ajustées

court terme des intrants quasi fixes ne sont pas suffisants pour produire une explication cyclique satisfaisante de la croissance de la productivité. Étant donné sa faible importance (environ 10 pour cent du stock de capital physique) et un prix fictif qui n'est guère supérieur au taux de rendement brut normal, la R-D propre joue un rôle extrêmement secondaire. L'effet de la R-D étrangère, malgré son faible taux de rendement, peut atteindre la moitié de celui de la R-D propre, à cause de son importance relative (à peu près égale à celle du stock de capital physique dans le modèle I et huit fois plus élevée dans le modèle II). Mes résultats confirment néanmoins les conjectures formulées par Denison (1985) dans le cas des États-Unis, à savoir que la R-D étrangère est moins importante que la R-D intérieure.

De nouveau, il n'y a pas grand-chose à tirer des résultats en ce qui concerne les causes du ralentissement. Les effets de l'échelle, de la quasi-fixité, de la R-D propre et de la R-D étrangère vont tous dans le bon sens, mais ils expliquent moins de 10 pour cent du ralentissement total.

Tableau 7

Résultats d'estimation du modèle de coûts d'ajustement (Estimations et écarts-types de 1973)

	Modèle I*	Modèle II*
Rendements à l'échelle	1,003 (0,022)	1,048 (0,026)
Coût d'ajustement marginal du capital**	0,163 (0,007)	0,168 (0,008)
Coût d'ajustement marginal de la R-D**	0,300 (0,013)	0,554 (0,025)
Prix fictif du capital**	0,111 (0,075)	0,112 (0,089)
Prix fictif de la R-D propre**	0,128 (0,033)	0,123 (0,033)
Prix fictif de la R-D étrangère**	0,011 (0,003)	0,001 (0,000)
Élasticité de la R-D propre/R-D étrangère	0,032 (0,008)	0,016 (0,004)

* Modèle I : S = somme pondérée des stocks sectoriels de R-D étrangère.
Modèle II : S = stock total de R-D aux États-Unis

** Divisé par les prix d'achat effectifs respectifs. Dans le cas de la R-D étrangère, divisée par le prix effectif de la R-D intérieure.

Note : Les écarts-types sont basés sur une approximation linéaire en séries de Taylor autour des valeurs vraies des paramètres.

Tableau 8

Décomposition de la croissance de la productivité totale des facteurs
Industrie manufacturière canadienne, 1965 - 1982

	1965-82		1965-73		1973-82	
Croissance de la PTF	0,560		1,139		0,157	
Modèle	**I**	**II**	**I**	**II**	**I**	**II**
Rendements à l'échelle	0,011	0,157	0,020	0,282	0,005	0,070
Intrants non-opt. et manquants	0,011	0,005	0,031	0,038	-0,010	-0,024
R-D propre	0,022	0,021	0,028	0,028	0,017	0,014
R-D étrangère	0,014	0,006	0,020	0,013	0,008	0,000
Coûts d'ajustement	-0,043	-0,053	-0,059	-0,066	-0,037	-0,049

Note : Ces chiffres correspondent à des moyennes sur les périodes échantillonnales respectives. Les notations I et II renvoient aux modèles I et II respectivement (voir les notes du tableau 3).

III Conclusions et recommandations de politique publique

La première partie de cette étude présente un survol assez complet des travaux empiriques consacrés aux rapports entre la R-D et la croissance de la productivité. Les observations recueillies à la faveur de ce survol permettent, semble-t-il, de dégager les conclusions suivantes :

- La R-D apparaît comme un déterminant important de la productivité totale des facteurs[36]. Son taux de rendement privé est supérieur à celui du capital physique. D'après les indications recueillies lors de ce survol, le taux de rendement privé net (de la dépréciation) est de l'ordre de 10 à 40 pour cent. La R-D mérite donc que les décideurs publics s'y intéressent.
- La composition de la R-D ne semble pas être sans importance. Il est maintenant couramment admis que la recherche fondamentale procure des taux de rendement plus élevés que la recherche appliquée ou les travaux de développement, que la R-D financée par l'entreprise privée rapporte davantage que la R-D soutenue par les fonds publics et que la R-D consacrée aux procédés novateurs est plus rentable que celle qui porte sur les produits nouveaux. Les décideurs publics devraient donc porter attention à la nature des activités de R-D qu'ils financent ou encouragent.
- La R-D est dans une large mesure un bien public qui bénéfice à des entreprises ou à des industries autres que celles qui innovent. Ces retombées peuvent être appréciables. Des taux de rendement collectifs dépassant de 50 à 100 pour cent les taux de rendement privés ne sont pas irréalistes. L'existence de ces retombées ne devrait pas être négligée lorsque vient le moment de définir la politique publique.
- On commence à voir se dessiner un certain tableau des principaux émetteurs et récepteurs des retombées intersectorielles de l'innovation et de la R-D, ainsi que de l'ampleur relative de ces flux technologiques interindustriels. Les décideurs publics pourraient donc axer l'aide à la R-D sur certains secteurs clés de l'économie où l'on obtient les taux de rendement sociaux les plus élevés, par exemple les produits chimiques,

les machines autres qu'électriques ou les instruments scientifiques[37].

- Les moyens précis à mettre en oeuvre pour promouvoir la R-D ou bénéficier des connaissances extérieures dépendent des liens qui existent entre la R-D et les structures du marché[38].
- Étant donné qu'elle est apparue comme complémentaire du capital physique, la R-D peut être stimulée indirectement par les mesures de politique publique qui encouragent les investissements en usines et en équipement.
- Le facteur d'opportunité de la R-D — la possibilité intuitive de faire une découverte dans un certain domaine — exerce une forte influence sur le taux de rendement de la R-D[39]. Les mesures de politique publique visant à fournir les connaissances scientifiques de base sont donc de la plus haute importance. À cet égard, l'implantation de laboratoires de recherche à proximité de certains types de centres de recherche universitaire, le financement de la recherche universitaire et, peut-être, la concentration géographique des installations universitaires dans le but d'induire des activités privées de recherche pourraient se révéler des décisions judicieuses, ainsi que tendent à le démontrer certains des résultats de Jaffe (1989).
- Certains ont fait valoir que la productivité de la R-D avait diminué au cours des années 70 et que cela expliquait peut-être en partie le ralentissement de la productivité. Cette baisse de la productivité de la R-D n'est pas bien établie sur le plan empirique, de sorte qu'elle ne devrait pas servir de prétexte pour réduire le soutien apporté à la R-D .
- Bien que, selon toutes les indications disponibles, la R-D financée par l'entreprise privée rapporte davantage que celle qui est financée par les fonds publics, l'aide publique à la R-D a un rôle utile à jouer dans le domaine de la recherche fondamentale. Les résultats de Link (1981) portent à croire que la recherche fondamentale financée par l'État exerce un effet positif appréciable sur la croissance de la productivité totale des facteurs, tandis que, selon les conclusions de Levin, Cohen et Mowery (1985), l'apport des centres de recherche et des organismes publics sur le plan des connaissances contribue de façon notable à l'intensité de la R-D. En outre, c'est dans le domaine de la recherche fondamentale que les taux de rendement sociaux risquent d'être les plus élevés et que les intérêts privés ont le moins de chances de s'approprier les fruits de la recherche.
- Les avantages que la société tire de la R-D vont en fait au-delà des effets mesurés selon les conventions des comptes nationaux, car les améliorations qualitatives n'apparaissent pas dans les données et la production est mal mesurée dans le secteur des services (par exemple, les domaines de la santé, de l'enseignement, des transports et de la défense), justement là où la R-D publique est nécessaire.

La deuxième partie de ce document consistait en une étude économétrique du rôle joué par les retombées de la R-D étrangère dans l'industrie manufacturière canadienne.

Les résultats obtenus ne révèlent pas un effet aussi marqué qu'on aurait pu le prévoir, étant donné l'importance du commerce canado-américain, la forte participation des intérêts étrangers au capital des entreprises canadiennes et la proximité du marché américain. La méthode primale produit des productivités marginales, lorsqu'elles sont significatives, de l'ordre de 25 à 40 pour cent. Dans bien des cas, les coefficients ne sont pas significatifs. La méthode duale produit, au mieux, un taux de rendement de 1 pour cent. La R-D canadienne ne paraît pas très impressionnante. Dans la méthode primale, elle n'est jamais significative et, dans la méthode duale, son prix fictif est à peine supérieur au taux de rendement brut normal.

Il convient de se pencher de nouveau sur la question à l'aide de nouvelles données ainsi que de modèles et de méthodes d'estimation différents. Une analyse plus désagrégée permettrait peut-être de se faire une idée plus précise de la question. Peut-être certains secteurs bénéficient-ils des retombées de la R-D menée à l'étranger, tandis que d'autres voient leur part du marché diminuer à cause de la concurrence technologique étrangère. Mon modèle sous-estime probablement la contribution de la R-D propre, parce qu'elle fait disparaître les retombées de la R-D intérieure en imposant l'équation d'Euler à la R-D. Enfin, nous savons que les estimations de variables instrumentales produisent des résultats non efficients.

Malgré ces réserves, voici les recommandations que je présente à l'attention des décideurs publics :

- Les données ne permettent pas de nier l'effet de réduction des coûts produit par la R-D étrangère dans l'industrie manufacturière canadienne. Les technologies provenant de l'étranger sont transmises notamment par le biais de l'investissement étranger, par l'acquisition de licences étrangères, par le commerce des produits de pointe, par la recherche conjointe et par les échanges d'information. Nous recommandons par conséquent qu'on maintienne la liberté d'accès à l'information technique par le biais de ces mécanismes de transmission.
- Le rendement de la R-D étrangère est cependant plus de 10 fois inférieur à celui de la R-D intérieure. Sur l'ensemble de la période 1965-1983, la contribution de la R-D étrangère à la croissance de la productivité totale des facteurs dans l'industrie manufacturière canadienne n'a été que de 2,5 pour cent. Le Canada ne peut donc s'en remettre uniquement à la R-D étrangère pour se procurer des connaissances technologiques.
- La R-D étrangère apparaît comme complémentaire de la R-D intérieure. La méthode primale n'a pas fait apparaître cette conclusion, mais cette dernière s'est constamment dégagée de la méthode duale. Cette complé-

mentarité souligne la nécessité de mettre en place les connaissances de base dans le pays même si l'on veut pouvoir bénéficier de la R-D effectuée à l'étranger.

Notes

1 Dans le cas d'extrants multiples, il faut également pondérer la croissance des divers extrants. On trouvera un exposé de ce cas dans Hulten (1978) et Berndt et Fuss (1989).

2 On trouvera une décomposition de la croissance de la productivité totale des facteurs en ses divers éléments dans un cadre de multiproduction, avec une application aux industries canadiennes, dans Bernstein et Mohnen (1991).

3 Pour plus de détails, se reporter à la section traitant de la fonction de Cobb-Douglas élargie.

4 Mairesse et Sassenou (1991) nuancent cette interprétation courante.

5 On trouvera dans Cunéo et Mairesse (1984) une interprétation plus nuancée du taux de rendement excédentaire.

6 Les coefficients de pondération sont soit la proportion des ventes de j à i, soit la proportion des achats de i à j. On doit établir des liaisons en aval ou en amont; on peut tenir compte des emprunts de premier et de deuxième niveau.

7 Le lecteur trouvera par exemple dans Griliches (1990) une vue d'ensemble des résultats des retombées dans l'agriculture.

8 Mansfield (1988) a découvert une différence frappante entre l'efficacité de la R-D aux États-Unis et au Japon. Les Japonais consacrent plus de R-D aux procédés, ce qui explique peut-être un taux de rendement global de la R-D allant jusqu'à 42 pour cent. À la différence des Américains, les Japonais réussissent mieux dans la R-D appliquée parce qu'ils consacrent davantage d'efforts à l'amélioration des produits et des procédés existants.

9 La matrice des opérations entrée-sortie, la matrice des flux de capitaux, la matrice des flux technologiques intersectoriels en fonction des brevets, la matrice des flux d'innovation ou une matrice estimée de proximité dans l'espace technologique des brevets ou des caractéristiques technologiques ont servi de matrices de support dans les études

consacrées aux retombées interentreprises ou interindustrielles de la R-D (voir Mohnen, 1990).

10 Si l'on considère les importations comme transmettant la R-D étrangère au Canada, les retombées de la R-D étrangère seraient mieux représentées par la somme des importations canadiennes pondérées par le ratio R-D/ventes de la ième dans l'industrie dans le jème pays, comme dans Allard (1987). Voici toutefois ce que je pense : il existe un stock accessible de R-D étrangère; plus l'industrie manufacturière canadienne est proche de ce stock, plus elle peut y effectuer des emprunts. J'ai travaillé à l'aide d'une mesure de la proximité; il serait intéressant à l'avenir de comparer les résultats obtenus à l'aide d'autres mesures de proximité.

11 Voir Levy et Terleckyj (1985).

12 En 1980, les achats de produits de pointe à l'étranger représentaient 63 pour cent des importations totales du Canada en provenance des États-Unis, 71 pour cent de celles venant du Japon, 36 pour cent de la France, 71 pour cent de l'Allemagne de l'Ouest et 50 pour cent du Royaume-Uni.

13 Cette liste est plus complète que celle qui figure dans Magun et Rao (1989), mais plus limitée que celle qu'utilise Lodh (1989).

14 Voir Nations Unies, Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique, série M, no 4, 2e révision.

15 Des élasticités faibles et non significatives du capital et de la R-D, lorsqu'on utilise des taux annuels de croissance, ont également été obtenues par Griliches et Mairesse (1983), Mairesse et Cunéo (1985) et Sassenou (1988).

16 On doit noter tout particulièrement que, au cours de la période échantillonnale, le secteur manufacturier canadien a réduit ses importations de produits de pointe en provenance du Royaume-Uni mais a accru ses importations du Japon.

17 Afin d'avoir moins de coefficients à estimer, nous avons laissé tomber la tendance, censée représenter la technologie. Le changement technique est le résultat de la R-D propre et des retombées de la R-D étrangère. Il est vrai qu'il existe d'autres sources de changement technique (par exemple l'amélioration des méthodes de gestion), mais je doute qu'une tendance puisse représenter beaucoup plus d'éléments que n'en reflète déjà S.

18 À noter que l'analyse est effectuée ici entièrement en termes nominaux, ce qui nous dispense d'avoir à établir arbitrairement un taux réel d'actualisation.

19 La forme fonctionnelle de McFadden généralisée asymétrique, avec des rendements constants à l'échelle, est en fait celle qu'utilisent Mohnen, Nadiri et Prucha (1986).

20 Dans le même ordre d'idée, Morrison (1988) a encore étendu la fonction généralisée de coût de Leontief en y introduisant des intrants quasi fixes.

21 Voir Diewert et Wales (1987), équation (32).

22 Les rendements à l'échelle sont définis vis-à-vis de tous les intrants, y compris la R-D étrangère et les ajustements du capital et de la R-D. Autrement dit, l'effet d'échelle porte sur tout l'éventail des activités, les acquisitions de facteurs, l'adoption de technologies nouvelles et les investissements bruts.

23 Cette forme fonctionnelle présente un certain nombre de propriétés commodes. L'approximation quadratique se prête à une agrégation (voir Ramey, 1986). Elle pourrait permettre de trouver explicitement les niveaux optimaux des intrants quasi fixes lorsque certaines conditions sont imposées aux anticipations des variables exogènes (on trouvera plus de détails dans Prucha et Nadiri, 1986). À la différence de la forme trans-log, cette forme admet les arguments négatifs.

24 Voir Diewert et Wales (1978), p. 2.

25 Les difficultés économétriques rencontrées n'ont pas été touchées par le genre de coût d'ajustement (investissement net ou brut, interne ou externe, isoélastique ou quadratique ou encore variations absolues ou en pourcentage), ni par l'actualisation (actualisation nominale des flux nominaux ou actualisation réelle des flux réels, ou taux d'actualisation réels variables ou constants).

26 Le modèle complet présenté à la section précédente comporte 17 paramètres. J'avais donc besoin d'au moins cinq variables instrumentales pour tester ma version réduite au regard du modèle complet sans restriction. Une estimation MMG était impossible avec plus de quatre variables instrumentales, car la matrice estimée de pondération aurait été singulière.

27 Pour la simulation, je suppose une prévision parfaite des variables futures.

28 Toute simulation des sentiers d'ajustement en vue de calculer des élasticité à moyen terme ou à long terme de la demande de facteurs est futile dans ce modèle, où les attentes sont rationnelles, mais les processus moteurs des variables exogènes ne font l'objet d'aucune estimation.

29 Dans un modèle plus élaboré, les retombées de la R-D devraient être présentées sous forme de variables de décision plutôt que de chocs exogènes : l'assimilation des nouvelles connaissances technologiques disponibles dépendrait de leur coût d'emprunt.

30 En présence de retombées interindustrielles dans l'économie intérieure — situation qui est probable —, la R-D devrait rapporter un taux de rendement plus élevé que le capital physique au niveau global. Cela porte à croire que la R-D n'est pas optimale et que, donc, l'équation

d'Euler ne se vérifie pas dans son cas. Les tentatives d'estimation du système d'équations sans l'équation d'Euler pour la R-D ont produit des résultats fragiles en ce qui concerne les prix fictifs de la R-D propre et de la R-D étrangère. Étant donné la colinéarité des données, il faut imposer une structure suffisante au modèle économétrique pour obtenir des résultats sensés. Autre solution, l'écart entre le prix du marché et le prix fictif de la R-D que nous attribuons aux coûts d'ajustement pourrait aussi s'expliquer par les retombées de la R-D intérieure.

31 On suppose qu'un autre investissement aura lieu au cours de la période t+1 de sorte que l'économie de prix d'achat et de coûts d'ajustement pourra être réalisée.

32 Ce faible taux de rendement est conforme à la notion de bien public, dont la consommation est poussée à la limite d'un taux de rendement marginal nul.

33 $$dR_t / dS_t = - (\partial VC^2_{t+1} / \partial S^2_t) / (\partial VC^2_{t+1} / \partial I^2_{R,t+1} + \partial VC^2_{t+1} / \partial R^2_t)$$

34 À noter que mes résultats n'ont guère été touchés par la correction apportée au titre des importations des produits de pointe entrant dans la demande finale. De toute façon, l'idée consiste à traiter ces importations non comme des «vecteurs» de la R-D étrangère, mais uniquement comme une mesure de la proximité de deux pays dans l'espace technologique.

35 Les taux de croissance ont été représentés de manière approchée par les différences premières des logarithmes, et les coefficients de pondération dont chaque taux de croissance est affecté dans l'équation (17) ont été calculés sous forme de moyennes établies sur deux périodes successives, comme dans l'indice de Törnqvist. La décomposition est évaluée aux valeurs effectives des variables et aux estimations ponctuelles des paramètres.

36 Les résultats obtenus par Globerman (1972), Odagiri (1983) et Hanel (1988) laissent à penser que c'est la R-D qui influe sur la croissance de la productivité, plutôt que le contraire.

37 Les résultats de la régression effectuée par Hanel et Palda (1989), selon lesquels les industries génératrices de retombées dans le domaine de la R-D au Canada recevaient plus de subventions du Programme de développement industriel et régional (PDIR) que les secteurs bénéficiant de ces retombées, entre 1983 et 1987, sont très encourageants.

38 Levin et Cohen (1989) fournissent une vue d'ensemble des résultats empiriques.

39 Le résultat de Clark et Griliches (1984) selon lequel la R-D exerce un effet plus marqué dans les entreprises ou industries où les principaux changements technologiques ont eu lieu, la constatation de Jaffe (1986)

voulant que seuls les effets externes à l'intérieur d'une grappe importent pour la croissance de la PTF, le résultat de Goto et Suzuki (1989) d'après lequel le savoir technologique diffusé par les industries liées à l'électronique ont un effet plus marqué dans les secteurs occupant des positions technologiques analogues, notre propre résultat selon lequel le changement technique accroît le prix fictif de la R-D et les observations de Levin and Reiss (1988) sur le rôle différentiel de plusieurs variables d'opportunité dans les taux de rendement de la R-D sont autant de conclusions qui vont dans le même sens.

Annexe A

Industries de pointe, avec code correspondant de la Classification type du commerce international (CTCI) (1re et 2e révisions)

1961 à 1977 (CTCI 1re rév.)

Machines autres qu'électriques

711 Générateurs et génératrices (autres qu'électriques)
712 Machines agricoles et instruments aratoires
714 Machines de bureau
715 Machines à travailler les métaux
717 Machines à travailler les textiles et le cuir
718 Machines pour les industries spéciales
719 Machines et appareils (autres qu'électriques) et pièces n.d.a.

Produits électriques

722 Machines et appareils de commutation électrique
723 Matériel de distribution électrique
724 Matériel de télécommunications
725 Appareils électriques à usage domestique
726 Appareils électriques à usage médical et radiologique
729 Autres machines et appareils électriques.

Matériel de transport

731 Matériel ferroviaire roulant et autre
732 Véhicules automobiles routiers

733 Véhicules routiers autres que les automobiles
734 Aéronefs
735 Bateaux et embarcations

Instruments professionnels et scientifiques

861 Instruments et appareils scientifiques, médicaux, optiques, de mesure et de contrôle
862 Fournitures photographiques et cinématographiques
863 Film cinématographique développé
864 Horlogerie
891.1 Phonographes, magnétophones et autre matériel d'enregistrement et de reproduction du son.

Produits chimiques

513 Chimie inorganique
514 Autres produits chimiques inorganiques
515 Substances radioactives et connexes
53 Produits de teinture et de tannage et colorants
54 Produits médicaux et pharmaceutiques
56 Engrais (manufacturés)
58 Matières plastiques, cellulose régénérée et résines artificielles
59 Matières et produits chimiques n.d.a.

1978 à 1987 (CTCI 2e révision)

Machines autres qu'électriques

71 Générateurs et génératrices
72 Machines spécialisées destinées à des industries particulières
73 Machines à travailler les métaux
74 Machines et matériel industriels à usage général n.d.a. et pièces de machines n.d.a.
75 Machines de bureau et matériel de traitement automatique des données

Produits électriques

76 Appareils et matériel de télécommunications, d'enregistrement et de reproduction du son
77 Machines et appareils électriques n.d.a. et pièces connexes

Matériel de transport

78 Véhicules routiers
79 Autres matériels de transport

Instruments professionnels et scientifiques

87 Instruments et appareils professionnels, scientifiques et de contrôle n.d.a.
88 Appareils, matériel et fournitures photographiques et articles d'optique, n.d.a.; horlogerie

Produits chimiques

52 Produits chimiques inorganiques
53 Produits de teinture et de tannage et colorants
54 Produits médicinaux et pharmaceutiques
56 Engrais manufacturés
58 Résines artificielles et matières plastiques
59 Produits chimiques, matières connexes et n.d.a.

Annexe B

Sources et élaboration des données

Les données, qui s'appliquent à l'ensemble du secteur manufacturier canadien de 1964 à 1982, ont été tirées de diverses sources, ainsi qu'il est indiqué ci-après.

Les données concernant les matières et la production brute, ainsi que les indices de prix implicites, ont été tirées de *Produit intérieur réel par industrie, 1961-1971*, no 61-516 au catalogue de Statistique Canada, et de *Système de comptabilité nationale, Produit intérieur brut par industrie*, no 61-213 au catalogue de Statistique Canada. Les nombres de travailleurs ont été tirés de *Industries manufacturières du Canada, niveaux national et provincial*, no 31-203 au catalogue de Statistique Canada. Les données relatives au nombre d'heures travaillées par semaine ont été tirées de l'Annuaire des statistiques du travail du Bureau international du travail. On a supposé que l'année comprenait 50 semaines de travail. Les chiffres relatifs à la rémunération totale par heure ont été obtenus du Département du travail des États-Unis, Bureau de la statistique du travail (Handbook of Labor Statistics).

Le stock de capital a été élaboré à l'aide des données tirées de *Flux et stocks de capital fixe*, no 13-211 au catalogue de Statistique Canada et de *Flux et stocks de capital fixe, historique*, 1936-1983, no 13-568 au catalogue de Statistique Canada. Les stocks de capital en fin de période ont été calculés par la méthode de l'inventaire permanent, à l'aide d'un taux de dépréciation géométrique. On a obtenu la valeur de référence de 1961 en ajoutant la moitié de l'investissement net total pour l'année en question aux chiffres publiés pour le stock net en milieu d'année, c'est-à-dire l'investissement brut diminué de l'investissement de remplacement. Le taux de dépréciation géométrique est calculé en divisant la valeur de l'investissement de remplacement pour la période actuelle par la valeur du stock net de la période précédente[1].

Le taux d'utilisation des capacités a été tiré de *Taux d'utilisation de la capacité dans les industries manufacturières canadiennes*, no 31-003 au catalogue de Statistique Canada; ce taux est mesuré par rapport à la période présentant le ratio capital/production le plus faible.

Le prix effectif après impôt du capital a été établi comme suit :

$$p_K = p_I [(1-k_I)(1-uz)]$$

où p_I est l'indice implicite de prix de l'investissement, k_I le taux du crédit d'impôt à l'investissement, u le taux nominal d'impôt direct des sociétés et z la valeur actuelle des déductions pour amortissement admissibles. Les taux du crédit d'impôt à l'investissement ont été tirés de Statistique fiscale des

sociétés, no 61-208 au catalogue de Statistique Canada. La valeur actuelle des déductions fiscales pour amortissement est calculée comme suit :

$$z = \omega\alpha / (0{,}04 + \alpha)$$

si l'on utilise la méthode de la valeur résiduelle et :

$$z = [\omega\alpha (1 + 0{,}04) / 0{,}04)] [1\text{-}1 / (1 + 0{,}04)^{T}]$$

si l'on emploie la méthode d'amortissement linéaire, où α = taux d'amortissement fiscal admissible et T = durée de vie utile de l'actif considéré[3].

Le taux d'intérêt nominal a été calculé comme la moyenne annuelle des taux d'intérêt mensuels sur les prêts aux entreprises au taux préférentiel, la source étant la *Revue de la Banque du Canada*. Pour calculer le taux d'actualisation nominal après impôt (en supposant que le stock de capital est entièrement financé par emprunt), il faut multiplier ce taux par 1 - le taux de l'impôt direct des sociétés[4]. Les taux nominaux d'imposition des bénéfices des sociétés ont été tirés de la publication 61-208 de Statistique Canada.

Les données sur la R-D nominales ont été tirées des tableaux de R-D dans l'industrie (publication ASC 83-3). Le stock de connaissances de R-D en fin de période a été élaboré à l'aide de la formule de l'inventaire permanent, avec un taux de dépréciation de 0,10. Le niveau de référence a été obtenu en divisant les dépenses de 1963 par la somme du taux de dépréciation et du taux de croissance de la production brute sur la période échantillonnale. Les dépenses de R-D ont été corrigées de l'indice implicite des prix du PNB, tirées des Comptes nationaux des revenus et dépenses, publication 13-201 de Statistique Canada.

Le prix effectif après impôt de la R-D a été calculé comme suit :

$$p_R = f_R [(1\text{-}\omega) (1\text{-}k_R) - D]$$

où f_R est l'indice des prix de la R-D, k_R le crédit d'impôt à la R-D et D la déduction fiscale incrémentielle procurée par

$$D = \omega\gamma [1 - \sum_{j=1}^{n} (1 / n) (1 / (1+.04)^{j})]$$

γ étant le taux de déduction fiscale supplémentaire et n la période de référence pour le calcul de l'incrément. La déduction fiscale incrémentielle était : nulle avant 1967, en 1977 et après 1982, de 25 p. 100 des dépenses courantes sur une période de cinq ans entre 1967 et 1976, et de 50 p. 100 sur l'ensemble des dépenses de R-D sur une période de trois ans entre 1978 et 1982. Le crédit d'impôt à la R-D s'établissait à 25 p. 100 entre 1967 et 1976, à 10 p. 100 en 1977 et à 20 p. 100 ensuite[5].

La variable Retombées de la R-D a été calculée comme une somme pondérée des stocks de R-D dans cinq industries (machines autres qu'électriques, produits électriques et matériel électronique, matériel de transport,

produits chimiques', instruments scientifiques) et cinq pays (États-Unis, Royaume-Uni, France, Allemagne de l'Ouest et Japon)' :

$$S = \sum_i \sum_j \frac{M_{ij}}{\sum_i \sum_j M_{ij}} R_{ij}$$

où S = variable de retombées, M_{ij} = importations canadiennes en provenance du secteur i dans le pays j et R_{ij} = stock de R-D du secteur i dans le pays j. Les données d'importation, classées selon la C.T.C.I. (et donc disponibles séparément pour établir une liste des produits de pointe) ont été tirées de l'OCDE, *Commerce extérieur par produits, Sommaire, Importations, Série C*. Afin d'exclure les importations qui alimentent la demande finale, on a calculé les ratios (au niveau des produits) à partir des tableaux d'entrées-sorties canadiens de 1980. Ces ratios — de la demande d'intrants intermédiaires augmentée de l'investissement en construction et en équipement par rapport à l'utilisation totale (c'est-à-dire la production augmentée des importations et diminuée des exportations et réexportations) —ont ensuite été appliqués au total des importations, en supposant que toutes les importations, peu importe leur pays d'origine, se répartissaient entre la demande intermédiaire et finale dans la même proportion que l'offre totale de produits. Les dépenses de R-D des entreprises commerciales en sciences naturelles et en ingénierie ont été tirées de la base de données de l'OCDE. Les données sur la R-D étrangère ont été empruntées à la base de données de l'OCDE sur la R-D, puis converties en dollars canadiens à l'aide des parités de pouvoir d'achat (PPP) également fournies par cette base. Sauf dans le cas des États-Unis, nous avons corrigé les chiffres nominaux de R-D au moyen des indices nationaux de prix du PIB, tirés du supplément statistique sur les prix du FMI, IFS no 12, 1986. Pour les États-Unis, nous avons utilisé l'indice de déflation de la R-D de Jaffe-Griliches publié par le Département du travail des États-Unis (1989). Nous avons d'abord exprimé les dépenses de R-D en monnaie nationale à l'aide des PPP, puis les avons converties aux prix de 1971 à l'aide des indices nationaux de déflation du PIB, avant de les reconvertir en dollars canadiens au moyen des PPP. Les données manquantes au début de l'échantillon ont été reconstruites à l'aide : (1) des chiffres de dépenses totales de R-D fournis par la National Science Foundation, *International Science and Technology Data Update: 1988*, NSF 89-307; et (2) le premier raccordement disponible entre la série de R-D totale et les séries de R-D sectorielles. Pour le Royaume-Uni, la série choisie a été celle établie par Soete et Patel (1985) afin de reconstruire les points manquants en milieu d'échantillon à l'aide du taux de croissance de la série plus agrégée appliqué aux données situées juste avant ces points. La méthode utilisée dans le cas de l'Allemagne a été celle de Mayer (1978) — les valeurs manquantes pour une année ont été remplacées par interpolation arithmétique.

Afin d'éviter un double comptage, nous avons soustrait : les frais de main-d'oeuvre consacrés à la R-D, divisés par le taux salarial, du travail; les autres dépenses courantes divisées par le prix des matières, des intrants intermédiaires; et un stock des dépenses en capital consacré à la R-D, calculées de la même manière que le stock total de la R-D, du stock de capital total. Les divers ratios de dépenses de R-D ont été tirés de l'année statistique internationale de l'OCDE (1975).

Les prix du travail, des intrants intermédiaires et de la production ont été multipliés par un moins le taux d'imposition des bénéfices des sociétés afin d'obtenir des prix après impôt. L'année de base de tous les indices et valeurs réelles est 1971. Les données tirées de différentes sources ou de divers numéros de la même publication ont été raccordées aux statistiques les plus récentes au moyen de leurs taux de croissance, lorsque les chiffres différaient au cours d'années se chevauchant.

Tableau B1

Statistiques descriptives des principales données
Industrie manufacturière canadienne, 1963 - 1983

Symbole	Variable	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	Taux de croissance annuelle 1965/82
Q	Production brute	62628	14819	35613	82795	3,45%
L	Heure-personne	12993	689	11292	14110	0,33%
M	Intrants intermédiaires	42086	10208	23696	56112	3,59%
K	Stock de capital net	31535	7753	18980	43168	4,42%
R	Stock de R-D propre	2899	792	1626	4529	4,89%
S_1	Retombées de la R-D étrangère	32472	5524	22542	40668	2,96%
S_2	Retombées de la R-D étrangère	266641	20510	223055	287332	1,35%
Pl	Prix du travail	0,849	0,529	0,302	1,963	9,35%
Pm	Prix de M	0,874	0,467	0,455	1,776	7,19%
r	Taux d'actualisation	0,092	0,037	0,058	0,193	6,72%
Pk	Prix effect. de K	0,895	0,472	0,427	1,864	7,66%
Pr	Prix effect. de R	0,642	0,324	0,330	1,346	5,77%

Toutes les quantités sont exprimées en millions de dollars canadiens de 1971.
S_1 = somme pondérée des stocks de R-D canadiens
S_2 = stock total de R-D aux États-Unis

Notes

1 Le taux de dépréciation résultant ne varie à peu près pas dans le temps, de sorte qu'on peut le considérer comme constant.

2 Nous avons retenu un taux d'amortissement géométrique de 5 p. 100 pour les bâtiments et de 20 p. 100 pour les machines. Des calendriers d'amortissement linéaire ont été en vogueur en 1963-1966 (a = 0,2, T = 5 pour les bâtiments, a = 0,5, T = 2 pour les machines) et en 1972-1978 (a = 0,5, T = 2 pour les machines seulement). Une majoration de 15 pour cent du prix d'achat du capital a été utilisée pour les provisions pour consommation du capital en 1971.

3 Voir King, M. et D. Fullerton (1984).

4 Voir McFetridge, D. et J. Warda (1983).

5 Produits pétroliers et raffineries exclus.

6 Les taux de dépréciation de la R-D sont censés être identiques dans tous les pays et la variable de retombées de la R-D est censée croître proportionnellement à la production brute au Canada. Le stock de retombées peut donc être établi à partir de la somme pondérée des dépenses de R-D.

Bibliographie

ADAMS, J.D., "Fundamental stocks of knowledge and productivity growth", *Journal of Political Economy* 98(41), 1990, pp. 673-702.

ALLARD, R., *Le calcul de la R-D non comptabilisée : un modèle exploratoire*, Statistique Canada, ST-87-04, Ottawa, 1987.

BALDWIN, J.R. et P.K. Gorecki, *Les économies d'échelle et la productivité : l'écart entre le Canada et les États-Unis dans le secteur manufacturier de 1970 à 1979*, Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada, vol. 6 des études de recherche colligées, Toronto, University of Toronto Press, 1986.

BARDY, R., *Die Produktivität von Forschung und Entwicklung*, Meisenheim am Glan, Verlag Anton Hain, 1974.

BARTELSMAN, E.J. et coll., *Short and long run externalities*, NBER Working Paper 3810, 1991.

BERNDT, E.R. et M.A. Fuss, *Economic capacity utilization and productivity measurement for multiproduct firms with multiple quasi-fixed inputs*, NBER Working Paper 2932, 1989.

BERNSTEIN, J.I., «*La recherche et le développement, les brevets et les politiques en matière de subventions et de fiscalité au Canada*», dans *L'industrie canadienne et le virage technologique*, Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada, vol. 3 des études de recherches colligées, D. McFetridge (s.l.d.), Toronto, University of Toronto Press, 1985, pp. 1-41.

BERNSTEIN, J.I., "Costs of production, intra- and inter-industry R&D spillovers: Canadian evidence", *Canadian Journal of Economics*, 21(2), 1988, pp. 324-347.

———, "The structure of Canadian inter-industry R&D spillovers, and the rates of return to R&D", *Journal of Industrial Economics*, 37(3), 1989, pp. 315-28.

BERNSTEIN, J.I. et M.I. Nadiri, "Interindustry R&D spillovers, rates of return, and production in high-tech industries", *American Economic*

Review, Papers and Proceedings, 78(2), 1988, pp. 429-434.

_____, "Research and development and intra-industry spillovers: an empirical application of dynamic duality", *Review of Economic Studies*, 56, 1989, pp. 249-69.

_____, "Rates of return on physical and R&D capital and structure of the production process: cross section and time series evidence", dans *Advances in Econometrics and Modeling*, B. Raj (s.l.d.), Londres, Kluwer Academic Publishers, 1990.

_____, "*Product demand, cost of production, spillovers, and the social rate of return to R&D*", NBER Working Paper 3625, 1991.

BERNSTEIN, J. et P. Mohnen, "Price-cost margins, exports and productivity growth with an application to Canadian industries", *Canadian Journal of Economics* 24(3), 1991, pp. 638-659.

BRESNAHAN, T., "Measuring spillovers from 'technical advance'", *American Economic Review* 76, 1986, pp. 741-755.

Bureau of Labour Statistics, *The Impact of Research and Development on Productivity Growth*, U.S. Department of Labor, Bulletin 2331, 1989.

CARDANI, A. et P. Mohnen, "Labor productivity slowdown in a dynamic model with energy, capital, and R&D for Italian and French manufacturing", *Giornale degli Economisti e Annali di Economia* 43(7-8), 1984, pp. 471-490.

CARMICHAEL, B. et coll., «La demande de facteurs de production dans le secteur manufacturier québécois : une approche dynamique avec attentes rationnelles», *Annales d'économie et de statistique* 19, 1990, pp. 43-68.

CAVES, D.W. et coll., "Productivity growth, scale economies, and capacity utilization, in U.S. railroads, 1955-74", *American Economic Review* 71(5), 1981, pp. 994-1002.

CLARK, B. et Z. Griliches, "Productivity growth and R&D the business level: Results from the PIMS data base", dans *R&D, Patents and Productivity*, Z. Griliches (s.l.d.), Chicago, University of Chicago Press, 1984.

COHEN, W. et D. Lewinthal, "Innovation and learning: the two faces of R&D: Implications for the analysis of R&D investment", *Economic Journal* 99(397), 1989, pp. 569-596.

CUNEO, P. et J. Mairesse, "Productivity and R&D at the firm level in French manufacturing", dans *Patents and Productivity*, Z. Griliches (s.l.d.), Chicago, University of Chicago Press.

DALY, M.J. et P.S. Rao, *Free trade, scale economies and productivity growth in Canadian manufacturing*, The Manchester School, 1986.

DeBRESSON C., «Analyse interindustrielle et le changement technologique», *Revue d'économie politique* 100 (6), 1991, pp. 833-869.

DENISON, E.F., *Trends in American Economic Growth* 1929-1982, Washington, D.C., Brookings Institution, 1985.

DIOLALIKAR, A.B. et R.E. Evenson, *Technology production and technology purchase in Indian industry : an econometric approach*, Yale University, Economic Growth Center Discussion Paper 556, 1988.

DIEWERT, W.E. et T.J. Wales, "Flexible functional forms and global curvature conditions", *Econometrica* 55(1), pp. 43-68.

_____, "A normalized quadratic semiflexible functional form", *Journal of Econometrics* 37, 1988, pp. 327-342.

DUCHARME, L.M. et P. Mohnen, *R&D spillovers and social rates of return on R&D*, document présenté au Congrès de la société canadienne de science économique, Mont-Gabriel, 24-26 mai 1989.

ENGLANDER, S. et coll., «Recherche-développement, innovation et ralentissement de la productivité totale des facteurs», *Revue économique de l'OCDE* 11, 1988, pp. 7-47.

FECHER, F., «Effets directs et indirects de la R-D sur la productivité : une analyse de l'industrie manufacturière belge», *Cahiers économiques de Bruxelles* 128, 1989, pp. 459-483.

FORAY, D. et D.C. Mowery, «L'intégration de la R-D industrielle : nouvelles perspectives d'analyse», *Revue économique* 41(3), 1990, pp. 501-530.

GALLANT, A.R., *Nonlinear Statistical Models*, New York, John Wiley et Sons, 1987.

GLOBERMAN, S., "The empirical relationship between R&D and industrial growth in Canada", *Applied Economics* 4, 1972, pp. 181-195.

GOTO, A. et K. SUZUKI, "R&D capital, rate of return on R&D investment and spillover of R&D in Japanese manufacturing industries", *Review of Economics and Statistics* LXXI(4), 1989, pp. 555-564.

GRILICHES, Z., "Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth", *Bell Journal of Economics* 10(1), 1979, pp. 92-116.

_____, "Returns to research and development expenditures in the private sector", dans *New Developments in Productivity Measurement and Analysis*, J. Kendrick et B. Vaccara (s.l.d.), Chicago, University of Chicago Press, 1980, pp. 419-454.

_____, "R&D and the productivity slowdown", *American Economic Review* 70(2), 1980b, pp. 343-348.

_____, "Productivity, R&D and basic research at the firm level in the 1970s", *American Economic Review* 76, 1986, pp. 141-154.

_____, "Productivity puzzles and R&D: another explanation", *Journal of Economic Perspectives* 2(4), 1988, pp. 9-21.

_____, *The search for R&D spillovers*, NBER Working Paper 3768, 1991.

GRILICHES, Z. et F. Lichtenberg, "R&D and productivity growth at the firm level: Is there still a relationship?", dans *R&D, Patents and Productivity*, Z. Griliches (s.l.d.), Chicago, University of Chicago Press, 1984.

_____, "Inter-industry technology flows and productivity growth: A reexami-

nations", *Review of Economics and Statistics* 61, 1980b, pp. 324-329.
GRILICHES, Z. et J. Mairesse, "Comparing productivity growth: An exploration of French and US industrial and firm data", *European Economic Review* 21, 1983, pp. 89-119.
_____, "Productivity and R&D at the firm level", dans *R&D, Patents and Productivity*, Z. Griliches (s.l.d.), Chicago, University of Chicago Press, 1984.
_____, "R&D and productivity growth: comparing Japanese and U.S. manufacturing firms", dans *Productivity Growth in Japan and the United States*, C.R. Hulten (s.l.d.), NBER Studies in Income and Wealth, vol. 53, Chicago, University of Chicago Press, 1990.
GROSSMAN, G.M. et E. Helpman, *Trade, knowledge spillovers, and growth*, NBER Working Paper 3485, 1990.
HALL, B. et J. Mairesse, *Exploring the relationship between R&D and productivity growth in French manufacturing firms*, NBER Working Paper 3956, 1992.
HANEL, P., «L'effet des dépenses en R&D sur la productivité du travail au Québec», *Actualité économique* 64(3), 1988.
HANEL, P. et C. Palda, *Appropriability and public support of R&D in Canada*, Université Queen's, School of Business, Working Paper 89-16, 1989.
HANSEN, L.P., "Large sample properties of generalized method of moments estimators", *Econometrica*, 1982, pp. 2029-2054.
HARTWICK, J.M. et B. Ewen, *On gross and net measures of sectoral R&D intensity for the Canadian economy*, Université Queen's, Institute of Economic Research, Working Paper 547, 1983.
HULTEN, C., "Growth accounting with intermediate inputs", *Review of Economic Studies*, 1978, pp. 511-518.
JAFFE, A.B., "Technological opportunity and spillovers of R&D: Evidence from firms' patents, profits, and market value", *American Economic Review* 76(5), 1986, pp. 984-1001.
_____, "Real effects of academic research", *American Economic Review* 79(5), 1989, pp. 957-970.
KENDRICK, J.W., "The implications of growth accounting models", dans *The Legacy of Reaganomics: Prospects for Long-term Growth*, C.R. Hulten et I.V. Sawhill (s.l.d.), Washington, D.C., Urban Institute Press, 1984, pp.19-43.
KING M., et D. Fullerton, *The Taxation of Income from Capital*, Chicago, University of Chicago Press, 1984.
LEVIN, R.C., "Appropriability, R&D spending, and technological performance", *American Economic Review* 78(2), 1988, pp. 424-428.
LEVIN, R. et W. Cohen, "Empirical studies of innovation and innovators", dans *Handbook of Industrial Organization*, R. Schmalensee et R. Willig

(s.l.d.), Amsterdam, North-Holland Press, 1989.

LEVIN, R.C. et coll., "R&D appropriability, opportunity, and market structure: new evidence on some Schumpeterian hypotheses", *American Economic Review, Papers and Proceedings* 75(2), 1985, pp. 20-24.

LEVIN, R.C. et coll., "Appropriating the results of industrial research and development", *Brookings Papers on Economic Activity* 3, 1987, pp. 783-831.

LEVIN, R. et P. Reiss, "Cost-reducing and demand-creating R&D with spillovers", *Rand Journal of Economics* 19(4), 1988, pp. 538-556.

LEVY, D.M. et N.E. Terleckyj, *Trends in industrial R&D activities in the United States, Europe and Japan*, 1963-1983, Conférence du National Bureau of Economic Research sur la croissance de la productivité au Japon et aux États-Unis, 26-28 août 1985.

LICHTENBERG, F., "The relationship between federal contract R&D and company R&D", *American Economic Review* 74, 1984, pp. 73-78.

_____, "The private R&D investment response to federal design and technical competitions", *American Economic Review* 78(3), 1988, pp. 550-559.

LICHTENBERG, F. et D. Siegel, *The impact of R&D investment on productivity - new evidence using linked R&D-LRD data*, NBER Working Paper 2901, 1989.

LINK, A.N., "Rates of induced technology from investments in research and development", *Southern Economic Journal*, 1978, pp. 370-379.

_____, "Basic research and productivity increase in manufacturing: Additional evidence", *American Economic Review* 71(5), 1981, pp. 1111-1112.

_____, *Research and Development Activity in U.S. Manufacturing*, New York, Praeger Publishers, 1981b.

_____, "Inter-firm technology flows and productivity growth", *Economics Letters* 11, 1983, pp. 179-184.

LITTWICK, *Canada's Science Policy and the Economy*, Toronto, Methuen, 1969.

LOOH, B., *Tests of alternative measures by commodity from a world trade data base, 1971-1987*, document présenté à la XXVIIe conférence de l'Association d'économétrie appliquée, Université de Montréal, 27-29 septembre 1988.

LONGO, F., *Industrial R&D and Productivity in Canada*, rapport préparé pour le Conseil des sciences du Canada, Ottawa, 1984.

McFETRIDGE, D. et J. Warda, *Canadian R&D Tax Incentives: Their Adequacy and Impact*, Canadian Tax Paper no 70, Toronto, Association canadienne d'études fiscales, 1983.

McFETRIDGE, D.G. et R.J. Conyati, «La diffusion des technologies : la situation au Canada et les questions de politique générale», dans *L'industrie canadienne et le virage technologique*, Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada, vol. 3 des

études de recherche colligées, D. McFetridge (s.l.d.), Toronto, University of Toronto Press, 1985, pp. 177-231.

MADDISON, A., "Growth et slowdown in advanced capitalist economies: Techniques of quantitative assessment", *Journal of Economic Literature* 25(2), 1987, pp. 649-698.

MAGUN, S. et S. Rao, *The competitive position of Canada in High-technology trade*, document présenté aux rencontres de l'Association canadienne d'économique, Université Laval, 2-4 juin 1989.

MAHMUD, S.F. et coll., "On estimating dynamic factor demands", *Journal of Applied Econometrics* 2(1), 1986.

MAIRESSE, J. et P. Cunéo, «Recherche-développement et performances des entreprises : une étude économétrique sur données individuelles», *Revue économique* 36, 1985, pp. 1001-1042.

MAIRESSE, J. et P. Mohnen, «Recherche-développement et productivité : un survol de la littérature économétrique», *Économie et statistique*, 1990, pp. 237-238, 99-108.

MAIRESSE, J. et M. Sassenou, «Recherche-développement et productivité : un panorama des études économétriques», *STI Review*, OCDE 8, 1991, pp. 9-46.

MAJER, H., *Industrieforschung in der Bundesrepublik Deutschland*, Tubingen, J.C.B. Mohr, 1978.

MANSFIELD, E., "Basic research and productivity increase in manufacturing", *American Economic Review* 70, 1980, pp. 863-873.

_____, "Industrial R&D in Japan and the United States: A comparative study", *American Economic Review, Papers and Proceedings* 78(2), 1988, pp. 223-228.

MANSFIELD, E. et coll., "Social and private rates of return from industrial innovations", *Quarterly Journal of Economics* 77, 1977, pp. 221-240.

MINASIAN, J.R., "Research and development, production functions and rates of return", *American Economic Review* 59, 1969, pp. 80-85.

MOHNEN, P., "New technologies and inter-industry spillovers", *STI Review*, OCDE 7, 1990, pp. 131-147.

MOHNEN, P. et N. Lepine, "R&D, R&D spillovers and payments for technology: Canadian evidence", *Structural Change and Economic Dynamics* 2(1), 1991, pp. 213-228.

MOHNEN, P.A. et coll., "R&D, production structure, and rate of return in the US, Japanese and German manufacturing sectors: A nonseparable dynamic factor demand model", *European Economic Review* 30, 1986, pp. 749-771.

MOHNEN, P. et M.I. Nadiri, «Demande de facteurs et recherche-développement: estimations pour les États-Unis, le Japon, l'Allemagne et la France», *Revue économique* 36(5), 1985, pp. 943-974.

MORRISON, C., "Quasi-fixed inputs in U.S. and Japanese manufacturing: A generalized Leontief restricted cost function approach", *Review of*

Economics and Statistics, 1988, pp. 275-287.

NADIRI, M.I., "Sectoral productivity slowdown", *American Economic Review, Papers and Proceedings* 70(2), 1980, pp. 349-355.

_____, "Contributions and determinants of research and development expenditures in the U.S. manufacturing industries", dans *Capital, Efficiency and Growth*, G.M. von Furstenberg Cambridge (s.l.d.), Ballinger, 1980b, pp. 361-392.

_____, Innovations and technological spillovers, polycopié, 1991.

NADIRI, M.I. et T.P. Mamuneas, *The effects of public infrastructure and R&D capital on the cost structure and performance of U.S. manufacturing industries*, NBER Working Paper 3887, 1991.

NADIRI, M.I. et I.R. Prucha, "Dynamic factor demand models, productivity measurement, and rates of return: Theory and an empirical application to the U.S. Bell System", *Structural Change and Economic Dynamics* 1, 1990a), pp. 263-289.

_____, "Comparison and analysis of productivity growth and R&D investment in the electrical machinery industries of the United States and Japan", dans *A Comparison of Productivity Growth in Japan and the United States*, C.R. Hulten (s.l.d.), Chicago, University of Chicago Press, 1990b).

NADIRI, M.I. et M.A. Schankerman, "Technical change, returns to scale, and the productivity slowdown", *American Economic Review, Papers and Proceedings* 71(2), 1981, pp. 314-319.

OCDE, *La mesure des activités scientifiques et techniques : méthode-type proposée pour les enquêtes sur la recherche et le développement expérimental*, manuel de Frascati, 1980.

ODAGIRI, H., "R&D expenditures, royalty payments, and sales growth in Japanese manufacturing corporations", *Journal of Industrial Economics* 32(1), 1983, pp. 61-71.

ODAGIRI, H., "Research activity, output growth, and productivity increase in Japanese manufacturing industries", *Research Policy* 14, 1985, pp. 187-196.

ODAGIRI, H. et H. Iwata, *The impact of R&D on productivity increase in Japanese manufacturing companies*, Working Paper, Institute of Socio-Economic Planning, University of Tsukuba, 1985.

PATEL, P. et L. Soete, «L'évaluation des effets économiques de la technologie», *STI Review*, no 4, 1988, pp. 133, 183.

POOLE, E. et J.-T. Bernard, "Defense innovation stock and total factor productivity growth", *Canadian Journal of Economics*, à paraître.

POSTNER, H.H. et L. Wesa, *La croissance de la productivité - Une analyse interindustrielle*, étude préparée pour le Conseil économique du Canada, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada, 1983.

POTSCHER, B. et I. Prucha, "Basic structure of the asymptotic theory in dynamic nonlinear econometric models, part I: Consistency and approxi-

mation concepts", *Econometric Reviews* 10(2), 1991a).

_____, "Basic structure of the asymptotic theory in dynamic nonlinear econometric models, part II: Asymptotic normality", *Econometric Reviews* 1991b).

PRUCHA, I.R. et M.I. Nadiri, "A comparison of alternative methods for the estimation of dynamic factor demand models under non-static expectations", *Journal of Econometrics* 33(1/2), 1986, pp. 187-221.

RAMEY, V.A., "Inventories as factors of production and economic fluctuations", *American Economic Review* 79(3), 1989, pp. 338-354.

RAO, S., *U.S.-Canada productivity gap, scale economies, and the gains from freer trade*, Conseil économique du Canada, document no 357, 1988.

ROBIDOUX, B., *The impact of R&D on productivity: A survey*, polycopié, 1991.

ROBIDOUX, B. et J. LESTER, *Econometric estimates of scale economies in Canadian manufacturing*, ministère des Finances, document de travail no 88-3, 1986.

SASSENOU, M., *Recherche-développement et productivité dans les entreprises japonaises : une étude économétrique sur données de panel*, thèse pour le doctorat de l'École des Hautes Études en sciences sociales, Paris, 1988.

SCHANKERMAN M., "The effects of double-counting and expensing on the measured returns to R&D", *Review of Economics and Statistics* 63(3), 1981, pp. 454-458.

_____, "A test of static equilibrium models and rates of return to quasi-fixed factors, with an application to the Bell System", *Journal of Econometrics* 33 (1/2), 1986, p. 97-118.

SCHERER, F.M., "Inter-industry technology flows and productivity growth", *Review of Economics and Statistics* 64, 1982, pp. 627-634.

_____, "R&D and declining productivity growth", *American Economic Review* 73, 1983, pp. 215-218.

_____, "Using linked patent and R&D data to measure inter-industry technology flows", dans *R&D, Patents and Productivity*, Z. Griliches (s.l.d.), Chicago, University of Chicago Press, 1984.

SOETE, L. et P. Patel, «Recherche-développement, importations technologiques et croissance économique», *Revue économique* 36(5), 1985, pp. 975-1000.

Statistique Canada, *Statistiques sur la recherche et le développement industriels*, no de catalogue 88-202, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada, 1991.

STERLACCHINI, A., "R&D, innovations and total factor productivity growth in British manufacturing", *Applied Economics* 21, 1989, pp. 1549-1562.

SUZUKI, K., *R&D outsourcing and dual cost measure of Tobin's multiple q in the Japanese electrical machinery industry: Evidence from micro data*, polycopié, 1991.

SVEIKAUSKAS, L., "Technology inputs and multifactor productivity growth", *Review of Economics and Statistics* 63, 1981, pp. 275-282.

TERLECKYJ, N., *Effects of R&D on the Productivity Growth of Industries: An Exploratory Study*, Washington, D.C., National Planning Association, 1974.

_____, "Direct and indirect effects of industrial research and development on the productivity growth of industries", dans *New Developments in Productivity Measurement and Analysis*, J. Kendrick et B. Vaccara (s.l.d.), Chicago, University of Chicago Press, 1980.

TEWKSBURY, J.G., et coll., "Measuring the societal benefits of innovation", *Science*, 1980, pp. 658-662.

WOLFF, E.N. et M.I. Nadiri, *Spillover effects, linkage structure, technical progress, and research and development*, C.V. Starr Center Research Report No. 87/43, 1987.

Remerciements

Je tiens à remercier pour leurs précieuses observations Jeffrey Bernstein, Philippe Cunéo, Erwin Diewert, Jacques Mairesse, M. Ishaq Nadiri, Ingmar Prucha, Someshwar Rao, Benoît Robidoux, Louise Séguin-Dulude, Mark Steel, les trois commentateurs anonymes que le CEC a trouvés et les nombreux participants aux colloques et séminaires auxquels le document a été présenté — le CERPE, l'Université de Paris I, l'Université de Paris XII, le Conseil économique du Canada, MERIT, l'Université Tilburg et le Séminaire de Malinvaud. Je suis également reconnaissant de l'aide financière apportée par le FCAR, qui m'a permis d'améliorer la première version de cette étude. Je tiens enfin à exprimer ma reconnaissance à Sofiane Ghali, qui m'a assisté avec compétence dans mes recherches.